

جمهورية العراق
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة بابل

استخدام بعض الأكاسيد كعوازل حرارية وعوامل مساعدة



شكر وتقدير

الحمد لله جل علاه والصلاة والسلام على اكرم الخلق اجمعين واشرف الانبياء
والمرسلين محمد (صلى الله عليه وعلى آل بيته الطيبين الطاهرين)... اتقدم بالشكر والتقدير
الى الاستاذ الفاضل الدكتور جليل كريم الخفاجي والدكتور قيصر مسلم عبد علي الاسدي

لجهودهما المبذولة. كما اشكر عمادة كلية الهندسة/ قسم المواد على منحي فرصة اكمال
الدراسة واتقدم بالشكر الى منتسبي مختبر المعادن ومختبر السيراميك في قسم هندسة
المواد، المكتبة المركزية في جامعة بابل والجامعة التكنولوجية ومنتسبي الشركة العامة
للمسح الجيولوجي والتعدين وشركة ابن سينا العامة على تعاونهم معي في اكمال البحث.
كما اتقدم بالشكر والتقدير الى كل من دعمني وسندني من الزميلات والزملاء الذين
ساعدوني على اتمام الدراسة والله ولي التوفيق.

إسراء

الإهداء

إلى ... دفاء الحنان الذي غمرني...

إمي... أبي من كان يده بيدي...

زوجي من كانوا سندي...

إخوالي الاعزاء رفقة دربي...

اخوتي – اخواتي ثمرة حياتي القادمة...

(طيبة) طفلاتي أهدي المتواضع هذا.

إقرار المشرفين

نشهد ان اعداد الرسالة " استخدام بعض الأكاسيد

كعوازل حرارية وعوامل مساعدة" والمقدمة من قبل

الطالبة (إسراء علي حسين) قد جرى تحت اشرافنا في جامعة بابل-كلية الهندسة ،
وهي جزء من متطلبات نيل درجة الماجستير علوم في هندسة المواد.

المشرف

د. قيصر مسلم عبد علي الاسدي

المشرف

د. جليل كريم الخفاجي

Republic Of Iraq

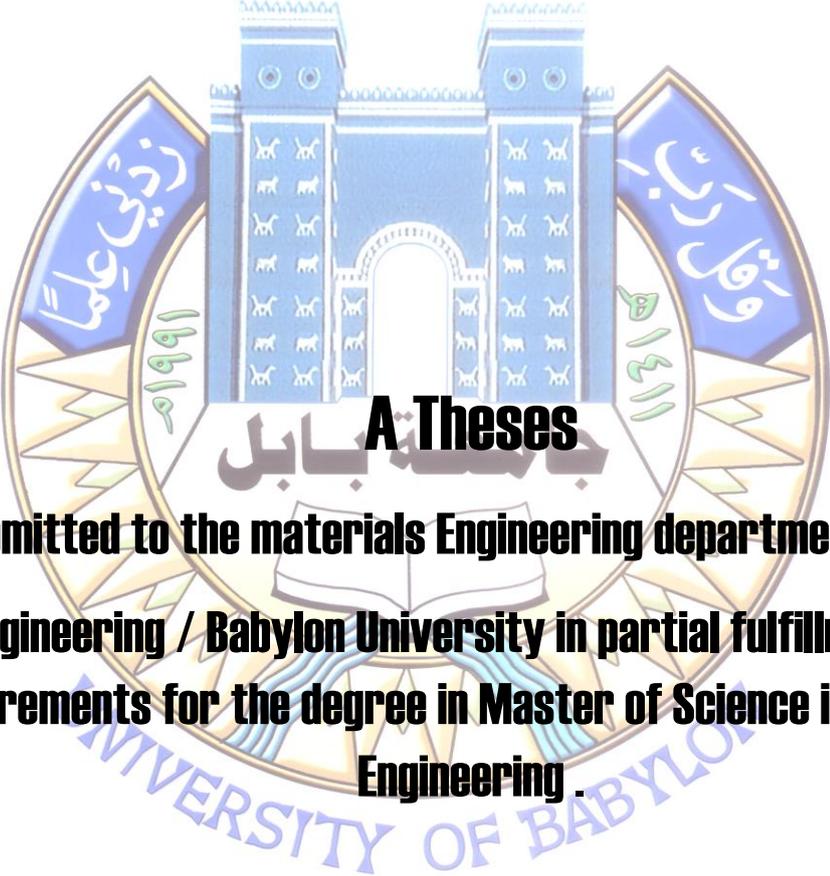
Ministry Of Higher Education

& Scientific Research

Babylon University

College Of Engineering

Using Some Oxide As Insulators And Catalyst



A Theses

**Submitted to the materials Engineering department College
Of engineering / Babylon University in partial fulfillment of the
requirements for the degree in Master of Science in Materials
Engineering .**

By

Asraa Ali Hussein Al- Aarajy

Abstract

In the present study: specimens of a selected oxides, such as CaO, SiO₂, Al₂O₃ and CaCO₃ are carried on composite materials (unsaturated polyester + fiber glass) are manufactured to be used as thermal insulators either a single oxide or a binary mixture: Al₂O₃ / CaO, Al₂O₃ / CaCO₃, Al₂O₃ / SiO₂ by a measuring of surface temperature of the steel plate which carry on both the composite material, and the oxide when the sample is exposed to oxy-acetylene and cooking gas flame from the distance of 50 mm. Results show that the best insulation system, is the Al₂O₃ / CaCO₃ mixture. In which CaCO₃ decompose by heat to give CO₂ gas which retarding flame follow by the high endothermic reaction at high temperature between resulting CaO and alumina.

The second part of this work is to study these oxides as catalysts by examining their water absorptivity as a function of time until get a constant weight at a constant temperature. The results show that the absorptivity of the oxides varies as:

- 1- samples carried on epoxy matrix and that is (non – heat treated) followed the following order in absorptivity Al₂O₃ / CaO > CaO / SiO₂ > CaO > Al₂O₃ > SiO₂ > CaCO₃ > Al₂O₃ / CaCO₃ > Al₂O₃ / SiO₂.
- 2- the sample carried on epoxy matrix and that is treated at 120 °C for a long period followed the following order CaCO₃ > Al₂O₃ / SiO₂ > Al₂O₃ / CaCO₃ > Al₂O₃ / CaO > SiO₂ > CaO / SiO₂ > CaO > Al₂O₃.
- 3- samples carried on unsaturated polyester matrix (non- heat treated) followed the following order CaO / SiO₂ > CaO > Al₂O₃ / CaCO₃ > Al₂O₃ = CaCO₃ > / SiO₂ > Al₂O₃ / CaO > Al₂O₃ / SiO₂.

٤- samples carried on unsaturated polyester matrix and (heat treated at ١٥٠°C) for a long period followed the following order $CaO > CaO / SiO_2 > Al_2O_3 / CaO > Al_2O_3 > Al_2O_3 / CaCO_3 > CaCO_3 > SiO_2 > Al_2O_3 / SiO_2$.

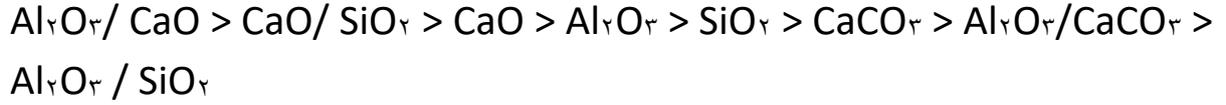
الخلاصة

اولاً: تم تصنيع عينات (محمولة على مادة مركبة من البولي استر غير المشبع والياف الزجاج) من مواد مختارة هي CaO ، SiO_2 ، Al_2O_3 و $CaCO_3$ لأستخدامها كمواد عازلة للحرارة بشكل منفرد مرة وعلى هيئة خليط مزدوج مرة اخرى. حسب حساباتها التفاعلية وهي SiO_2/Al_2O_3 ، $CaCO_3/Al_2O_3$ و CaO/Al_2O_3 . من خلال قياس درجة الحرارة على سطح قطعة الفولاذ الملتصقة بالمادة المركبة عند تعرض العينة لشعلة الاوكسي استيلينية والشعلة الغازية (غاز سائل + هواء) على مسافة ٢٠mm ظهر بأن افضل نظام عازل هو خليط $CaCO_3/Al_2O_3$ ويعود السبب الى تفكك كاربونات الكالسيوم.

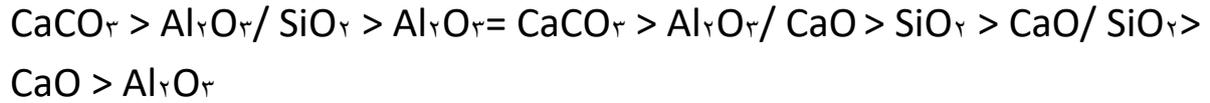
ان جميع التحولات الفيزيائية والكيميائية لهذا المزيج هي عمليات ماصة للحرارة تستمدتها من اللهب فتقلل من كمية الحرارة المنبعثة وبالتالي يحمي المادة المركبة المحمولة عليها. ان درجات الحرارة المسجلة على سطح قطعة الفولاذ في الثواني الاولى لتعرض النماذج للشعلة الاوكسي استيلينية اوطى بكثير مما عليه في حالة استخدام الشعلة الغازية ويعود ذلك ان التفاعلات الماصة للحرارة تحدث في زمن اقصر عند تعرض النماذج للشعلة الاولى عما عليه في حالة تعرضها للشعلة الثانية لشدة حرارة الشعلة الاولى عن الثانية.

ثانياً: تم تصنيع عينات (محمولة على مادة مركبة من الياف الزجاج ومادة الاساس تارة البولي استر غير المشبع وتارة اخرى من الايبوكسي) من CaO ، SiO_2 ، Al_2O_3 و $CaCO_3$ لدراسة قابليتها كعوامل مساعدة بشكل منفرد تارة وعلى هيئة خليط مزدوج بنسبة متساوية تارة اخرى وهي Al_2O_3/CaO ، Al_2O_3/SiO_2 ، $Al_2O_3/CaCO_3$ وبمعاملة حرارية مناسبة وبدونها وذلك بغمر هذه العينات في ماء مقطر بدرجة ٢٥°C ولفترات زمنية مختلفة لحين الوصول الى حالة الاشباع (أعلى امتصاصية) ومنها تظهر قابلية هذه المواد على استخدامها كعوامل مساعدة في الصناعة. أظهرت النتائج مايلي:

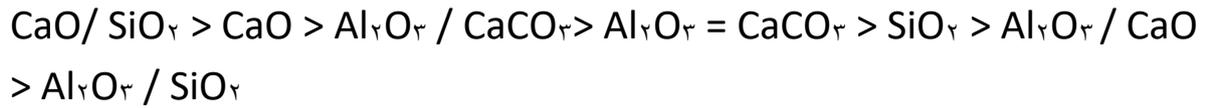
١. النماذج المحمولة على اساس الايبوكسي والغير معاملة حرارياً تتبع النظام التالي من حيث الامتصاصية:



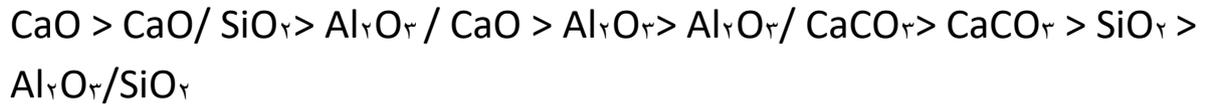
٢. النماذج المحمولة على اساس الايبوكسي والمعاملة حرارياً بدرجة ١٢٥°C لفترة طويلة تتبع النظام التالي من حيث الامتصاصية :



٣. النماذج المحمولة على اساس البولي استر الغير مشبع والغير معاملة حرارياً تتبع النظام التالي من حيث الامتصاصية :



٤. النماذج المحمولة على اساس البولي استر غير المشبع والمعاملة حرارياً بدرجة ١٥٠°C لفترة طويلة تتبع النظام التالي من حيث الامتصاصية



المحتويات

الصفحة	الموضوع	التسلسل
الفصل الاول- المقدمة		
١	المقدمة	١-١
٤	هدف الدراسة	٢-١
٤	ترتيب الاطروحة	٣-١
الفصل الثاني-الجانب النظري		
٦	المقدمة	١-٢
٦	المواد الحرارية (الحراريات)	٢-٢
٧	تراكيب المواد السيراميكية	٣-٢
٧	التركيب المتبلور	١-٣-٢
٧	تركيب السلاسل	٢-٣-٢

٨	التركيب الطبقي	٣-٣-٢
٨	التركيب غير المتبلور	٤-٣-٢
٨	تصنيف الحرارية	٤-٢
٨	الحراريات الحامضية	١-٤-٢
٩	الحراريات القاعدية	٢-٤-٢
٩	الحراريات المتعادلة	٣-٤-٢
٩	الحراريات الخاصة	٤-٤-٢
١٠	انواع المواد العازلة	٥-٢
١٠	المواد العازلة العضوية	١-٥-٢
١٠	رغوات البوليستايرين	١-١-٥-٢
١١	رغوات البوليورثين	٢-١-٥-٢
١١	رغوات بوليسكاينريت	٣-١-٥-٢
١١	الرغوات الفينولية	٤-١-٥-٢
١٢	المواد العازلة غير العضوية	٢-٥-٢
١٢	اوكسيد السليكون- السليكا	٦-٢
١٦	اوكسيد الالمنيوم-الالومينا	٧-٢
١٩	اوكسيد الكالسيوم-الكاليسيا	٨-٢
٢١	كاربونات الكالسيوم	٩-٢
٢٥	المواد المترابطة	١٠-٢
٢٦	المادة الاساس	١-١٠-٢
٣١	مادة التقوية	٢-١٠-٢
٣٣	العوامل المساعدة	١١-٢
٣٦	اختبار التعرية الحرارية	١٢-٢
٣٨	امتصاصية الماء	١٣-٢
٣٨	الكثافة الظاهرية	١٤-٢
٣٨	الكثافة الكتلية	١٥-٢
٣٩	النفذية	١٦-٢
٤٠	مراجعة الادبيات	١٧-٢

الفصل الثالث- الجانب العملي

٤٣	المقدمة	١-٣
٤٤	المواد الاولية المستخدمة في تحضير المادة العازلة	٢-٣
٤٦	تهيئة المادة الاولية لتحضير المادة المركبة	٣-٣
٤٧	الاجهزة والمعدات المستخدمة	٤-٣
٤٧	تهيئة نماذج الاختبارات	٥-٣
٤٨	تحديد النسب وخط المواد	١-٥-٣
٤٩	الكبس	٢-٥-٣
٥٢	الاختبارات	٦-٣
٥٢	اختبار التعرية الحرارية	١-٦-٣
٥٤	اختبار الامتصاصية	٢-٦-٣

الفصل الرابع- النتائج والمناقشة

٥٧	المقدمة	١-٤
٥٧	اختبار التعرية الحرارية	٢-٤
٦٧	اختبار الامتصاصية	٣-٤

الفصل الخامس-		
٨٤	الاستنتاجات	٥-١
٨٥	التوصيات	٥-٢
٨٦	المصادر	

ملحق الجداول

الصفحة	عنوان الجدول	التسلسل
	التركيب الكيماوي لخمسة من المواد السيراميكية	٢-١
	انواع الحرارية الثلاث وتركيبها	٢-٢
	الخواص الحرارية والفيزيائية للسليكا (الطور المستقر)	٢-٣
	الخواص الحرارية والفيزيائية اوكسيد الالمنيوم الثنائي	٢-٤
	الخواص الحرارية والفيزيائية اوكسيد الكالسيوم	٢-٥
	الخواص الحرارية والفيزيائية لكربونات الكالسيوم	٢-٦
	خواص راتنج البولي استر غير المشبع العامة	٢-٧
	مكونات الباف الزجاج ونسبها المئوية	٢-٨
	درجات حرارة الشعلة المتولدة من عدد من الغازات	٢-٩
	نتائج التحليل الكيماوي للسليكا	٣-١
	نتائج اختبار فحص الحجم الحبيبي	٣-٢
	خواص لانتج الايبوكسي	٣-٣
	الخواص الفيزيائية للاليف الزجاجية	٣-٤
	نسب المواد الداخلة في اختبار التعرية الحرارية	٣-٥
	نسب المواد الداخلة في اختبار الامتصاصية	٣-٦
	اعلى زيادة في الوزن (Δw)	٤-١
	قيم الامتصاصية	٤-٢

ملحق الاشكال

الصفحة	عنوان الشكل	التسلسل
	شكل مسحوق السليكا	٢-١
	الشكل البلوري للسليكا	٢-٢
	شكل مسحوق الالومينا	٢-٣
	الشكل البلوري للالومينا	٢-٤
	شكل مسحوق الالومينا	٢-٥
	شكل مسحوق كاربونات الكالسيوم	٢-٦
	الشكل البلوري لكربونات الكالسيوم	٢-٧
	التركيب لراتنج البولي استر غير المشبع	٢-٨
	التركيب الكيماوي لراتنج الايبوكسي	٢-٩
		٢-١٠
	طريقة حساب قدرة المادة على مقاومة اللهب	٢-١١
	تأثير الكثافة على الموصلية الحرارية للمادة العازلة	٢-١٢
	تأثير النفاذية على الموصلية الحرارية للمادة العازلة	٢-١٣
	الخلاط الكهربائي	٣-١

٣-٢	رسم تخطيطي لعينة اختبار التعرية الحرارية والامتصاصية
٣-٣	ال قالب المعدني
٣-٤	نموذج اختبار التعرية الحرارية والامتصاصية
٣-٥	محرار الكتروني
٣-٦	اختبار التعرية الحرارية
٣-٧	الميزان الحساس
٣-٨	فرن التجفيف
٤-١	اختبار التعرية الحرارية بالشملة الغازية لـ Al_2O_3
٤-٢	اختبار التعرية الحرارية بالشملة الاوكسي-استيلينية لـ Al_2O_3
٤-٣	اختبار التعرية الحرارية بالشملة الغازية لـ Al_2O_3 مضافة اليه $CaCO_3$
٤-٤	اختبار التعرية الحرارية بالشملة الاوكسي-استيلينية لـ Al_2O_3 مضافة اليه $CaCO_3$
٤-٥	اختبار التعرية الحرارية بالشملة الغازية لـ Al_2O_3 مضافة اليه SiO_2
٤-٦	اختبار التعرية الحرارية بالشملة الاوكسي-استيلينية لـ Al_2O_3 مضافة اليه SiO_2
٤-٧	اختبار التعرية الحرارية بالشملة الغازية لـ Al_2O_3 مضافة اليه CaO
٤-٨	اختبار التعرية الحرارية بالشملة الاوكسي-استيلينية لـ Al_2O_3 مضافة اليه CaO
٤-٩	اختبار التعرية الحرارية بالشملة الغازية لـ $CaCO_3$
٤-١٠	اختبار التعرية الحرارية بالشملة الاوكسي استيلينية لـ $CaCO_3$
٤-١١	العينات المختبرة بالشملة الغازية والشملة الاوكسي استيلينية
٤-١٢	اختبار الامتصاصية للعينات الغير مسخنة المحمولة على (راتنج البولي استر غير المشبع + الالياف الزجاجية) للنظام المفرد والنظام الثنائي
٤-١٣	اختبار الامتصاصية للعينات المسخنة الى $150^{\circ}C$ المحمولة على (راتنج البولي استر غير المشبع+الالياف الزجاجية) للنظام المفرد والثنائي
٤-١٤	اختبار الامتصاصية للعينات الغير مسخنة المحمولة على (راتنج الايبوكسي + الالياف الزجاجية) للنظام المفرد والثنائي.
٤-١٥	اختبار الامتصاصية للعينات المسخنة الى $125^{\circ}C$ المحمولة على (راتنج الايبوكسي+ الالياف الزجاجية) للنظام المفرد والثنائي
٤-١٦	اختبار الامتصاصية لـ CaO المحمول على (راتنج البولي استر+الالياف الزجاجية) والمحمولة على (راتنج الايبوكسي+الالياف الزجاجية) للعينات المسخنة وغير المسخنة.
٤-١٧	اختبار الامتصاصية لـ Al_2O_3 المحمول على (راتنج الايبوكسي+الالياف الزجاجية) والمحمول على (راتنج البولي استر+ الالياف الزجاجية) للعينات المسخنة وغير المسخنة
٤-١٨	اختبار الامتصاصية لـ SiO_2 المحمول على (راتنج البولي استر غير المشبع+الالياف الزجاجية) والمحمول على (راتنج الايبوكسي+ الالياف الزجاجية) للعينات المسخنة وغير المسخنة.
٤-١٩	اختبار الامتصاصية لـ $CaCO_3$ المحمول على (راتنج البولي استر غير المشبع+الالياف الزجاجية) والمحمول على (راتنج الايبوكسي+الالياف الزجاجية) للعينات المسخنة وغير المسخنة.
٤-٢٠	اختبار الامتصاصية لـ (SiO_2/Al_2O_3) بالنسبة للعينات المسخنة وغير المسخنة المحمولة على راتنج استر + الالياف الزجاجية والمحمول على راتنج الايبوكسي + الالياف الزجاجية
٤-٢١	اختبار الامتصاصية لـ (CaO/Al_2O_3) بالنسبة للعينات المسخنة وغير المسخنة المحمولة على (راتنج الايبوكسي+الالياف الزجاجية) والمحمولة على (راتنج البولي استر غير المشبع + الالياف الزجاجية).
٤-٢٢	اختبار الامتصاصية للعينات المحمولة على (راتنج البولي استر غير المشبع+الالياف الزجاجية) والمحمولة على (راتنج الايبوكسي + الالياف الزجاجية) للعينات المسخنة وغير المسخنة لـ $(CaCO_3/ Al_2O_3)$.
٤-٢٣	اختبار الامتصاصية للعينات المحمولة على (راتنج البولي استر غير المشبع + الالياف الزجاجية) والمحمولة على (راتنج الايبوكسي+ الالياف الزجاجية) للعينات المسخنة وغير المسخنة

قائمة الرموز

الرمز	معنى الرمز	الوحدات
Δw	الفرق في الوزن	g
W_1	الوزن الابتدائي	g

g	الوزن النهائي	W_T
%	الكسر الحجمي	V_F
%	الكسر الوزني	W_F
g	وزن الليف	W_f
g	وزن المادة الأساس	W_m
cm^3	Density cup	V_c
g	وزن المادة المركبة	W_c

قائمة الرموز الاغريقية

g/cm^3	كثافة الليف	ρ_f
g/cm^3	كثافة المادة الأساس	ρ_m
%	الكسر الوزني لللياف في المادة المركبة	ψ
%	الكسر الحجمي	ϕ
g/cm^3	الكثافة الظاهرية	ρ_A
g/cm^3	الكثافة الكتلية	ρ_B

١-١ المقدمة Introduction

في العصر الحديث ازدادت أهمية اكاسيد المعادن لاستخدامها في تطبيقات عديدة حيث تتعرض الكثير من المواد الهندسية إلى درجات حرارة عالية أثناء عملها لذلك تحتاج إلى توفير الحماية لها وخصوصاً إذا كانت هذه المواد تمتلك درجات انصهار واطنة أو إنها تحترق بسرعة مثل المواد المتراكبة التي تتلف عند تعرضها إلى درجات الحرارة العالية، لذلك يتم إضافة هذه الاكاسيد لهذه المنتجات والتي لها القابلية على تحمل درجات الحرارة العالية لحمايتها وتعمل في الوقت ذاته على تقليل إنتقال الحرارة عبر هذه المنتجات وتسمى مثل هكذا مواد بالمواد العازلة (Insulators) وتدعى هذه القابلية بالعزل الحراري (Thermal Insulation) [١].

تُعرف المواد العازلة بأنها المواد التي تؤثر أو تعيق عملية إنتقال الحرارة وتستخدم كحاجز بين جسمين بدرجات حرارة مختلفة لتقليل فقدان الحرارة من الجسم الساخن أو اكتسابها من قبل الجسم البارد أي إنها تستخدم لحفظ الطاقة [٢].

تعمل المادة العازلة على تقليل إنتقال الحرارة بأستبدال ممر جريان الحرارة القصير ذي المقاومة الحرارية الواطئة بممر طويل ذي مقاومة حرارية عالية. العزل الحراري هو عائق يقلل انتقال طاقة الحرارة من مادة الى اخرى، بخفض تأثيرات عمليات التوصيل (Conduction)، الحمل (Convection) والاشعاع (Radiation) [٣]. معظم العوازل تمنع التوصيل، لذلك العازل الجيد هو موصل رديء للحرارة.

المواد الاقل كثافة هي العوازل الحرارية الافضل أما المواد الاعلى كثافة تكون ذراتها متقاربة اكثر وهذا يعني ان انتقال الطاقة من ذرة الى اخرى هو اكثر فعالية. لذلك الغازات يكون عزلها الحراري افضل من السوائل والتي يكون عزلها الحراري بالمقابل افضل من المواد الصلبة [٣].

ومن الجدير بالذكر ان الموصلات الرديئة للكهربائية هي موصلات رديئة للحرارة، فالخشب عازل حراري افضل من النحاس السبب في ذلك هو ان المواد التي توصل الكهرباء تسمح للاكترونات الحرة بالحركة خلال المادة وهذا يعزز انتقال الحرارة من منطقة الى اخرى في المادة ، بدون هذه القابلية المواد مثل الخشب لاتوصل الحرارة جيداً [٣].

تعتبر الخواص الحرارية من الخواص المهمة للمواد العازلة والتي من أهمها قابلية الاشتعال (Combustibility) التي تمثل صفة لنقطة الاشتعال، ويفضل العازل الذي يمتلك أقل قابلية لإشتعال لتقليل مخاطر الاحتراق [٢].

الخاصية المهمة الأخرى هي الموصلية الحرارية (Thermal conductivity). وهذه الخاصية تحدد الحرارة المفقودة من جسم يمتلك درجات حرارة مختلفة عند جهتيه، ويتطلب في كثير من التطبيقات الصناعية ان تكون هذه الخاصية اقل ما يمكن. الخاصية الحرارية الأخرى التي تراعى في حالة إختيار العازل هي السعة الحرارية (Heat capacity) والتي تعتبر مقياساً لكمية الحرارة المنقولة نتيجة للتغير الحاصل في درجة حرارة مول واحد من المادة ويجب ان تتلائم مع استخدامها ، كمثال على ذلك يجب ان يمتلك عازل الافران سعة حرارية واطئة او استجابة سريعة لتغير درجة الحرارة المطلوبة [٢].

الى جانب الخواص الحرارية فإن الخواص الفيزيائية للمواد العازلة تكون ذات تأثير كبير على كفاءة المادة العازلة ومن هذه الخواص هي خاصية النفاذية (Permability) ، إذ إن زيادة نفاذية المادة العازلة تسبب إنخفاض الموصلية الحرارية لتلك المادة ويعزى السبب في ذلك إلى كثرة الجيوب الهوائية في المادة العازلة ذات النفاذية العالية وتعتبر هذه الجيوب الهوائية وسطاً رديئاً للتوصيل الحراري [٢].

اضافة الى ذلك خاصية النفاذية والتي تتضمن زيادة المسامية تؤهل اكاسيد المعادن لاستخدامها كعوامل مساعدة في الصناعة حيث ان زيادة المسامية يؤدي الى زيادة نفاذية السطح فتعجل من العمليات الكيميائية بداخلها. ومن الممكن تعريف العامل المساعد (Catalyst) بأنه تلك المادة الغريبة التي تضاف الى وسط التفاعل بكميات قليلة تغير من سرعة التفاعل لغرض اقترابه من حالة التوازن بتكوين مركبات وسطية سرعان ما تتفكك لاعطاء النواتج النهائية محررة العامل المساعد [٤]. تدخل الاكاسيد المعدنية ضمن صنفين من العوامل المساعدة ويتكون الصنف الاول من الاكاسيد المعدنية التي اذا سخنت في الهواء تفقد اوكسجيناً او تكتسب اوكسجيناً من صبيغتها التركيبية ولهذا السبب تمتلك خاصية التوصيل الكهربائي. ويشتمل الصنف الثاني من الاكاسيد المعدنية التي لانفقد او تكتسب ذرة اوكسجين بتأثير الحرارة ولهذا فان هذا النوع من الاكاسيد المعدنية لا توصل التيار الكهربائي وتعد كعوازل ومن هذه الاكاسيد هي Al_2O_3 و CaO و SiO_2 [٤]. الخاصية الفيزيائية الثانية هي الكثافة إذ تسبب زيادة كثافة المادة العازلة الى زيادة الموصلية الحرارية ويرجع السبب في ذلك إلى تقليل الجيوب الهوائية داخل المادة العازلة، العامل الآخر المؤثر هو عامل الضغط حيث بزيادته تزداد الموصلية الحرارية. وبارتفاع درجة الحرارة تقل الموصلية الحرارية للمادة العازلة ، ويعزى هذا التغير إلى الاهتزازات الأولية للجسيمات الموصلة للحرارة والالكترونات الحرة. إن كيفية إضافة المواد العازلة تعتمد على الوسط الذي تكون المادة المراد تحسين مقاومتها بتماس معه، حيث تضاف على شكل حشوات أو مالئات (Fillers) إلى المواد لخفض موصليتها الحرارية في درجات الحرارة العالية نسبياً ويشترط في ذلك ان تكون هذه المواد غير معرضة إلى مصدر لهب مباشر (Direct Flame) [٣]. أما في حالة تعرض هذه المواد الى لهب مباشر تصبح الحشوات عديمة الجدوى لذلك يستعاض عنها بتقنية أخرى وهي الطلاء بمواد عازلة (Coating) لها القدرة على تحمل درجة الحرارة العالية المتولدة من اللهب والتي قد تصل في بعض الحالات إلى أكثر من $(3000^{\circ}C)$ عندئذ تسمى بالمواد المقاومة للانصهار او الحرارية (Refractories). ومن الأمثلة على هكذا مواد هي المواد السيراميكية نظراً لاستقراريتها في درجات الحرارة العالية، وردانتها للتوصيل الحراري إضافة إلى خواصها الميكانيكية الجيدة، كالألومينا (Al_2O_3)، السليكا (SiO_2)، الكاليسيا (CaO)، او المغنيسيا (MgO) وغير ها من المواد [١].

١-٢: أهداف الدراسة Aim of the Work

تهدف الدراسة إلى :

١ . الاستفادة من التحول الطوري لبعض المواد ومن تفكك بعضها كيميائياً بالإضافة الى تحولها الطوري كعمليات ماصة للحرارة لاستخدامها كمواد عازلة حرارياً محمولة على مواد متراكبة.

٢ . استخدام انظمة مزدوجة من المواد اعلاه وبنسب وزنية حسب حساباتها التفاعلية للاستفادة من تفاعلاتها الماصة للحرارة وفي درجات الحرارة العالية بالإضافة الى تحولها الطوري وتفكك قسم منها بهدف ايجاد انظمة كيميائية واقية من الحرارة محمولة على مواد متراكبة.

٣. استخدام المواد اعلاه منفردة ومزدوجة (محمولة على مواد متراكبة) كعوامل مساعدة تأثير المعالجة الحرارية لها على قابليتها كعوامل مساعدة من خلال تحسين قابلية نفاذية الماء بداخلها ودور نوع مادة الاساس في المادة المركبة المحملة عليها في زيادة تلك القابلية.

١-٣: ترتيب الأطروحة Thesis Arrangement

تتضمن الاطروحة خمسة فصول وهي مرتبة بالشكل التالي:-

١. **الفصل الاول:** يضم المقدمة والتي تشتمل على معلومات ومفاهيم عامة عن العوازل الحرارية والعوامل المساعدة إضافة إلى ذلك يتضمن هذا الفصل هدف الدراسة والبحوث والدراسات السابقة.

٢. **الفصل الثاني:** يشتمل على الجانب النظري من العمل حيث يستعرض هذا الفصل كل ما له صلة بالمواد التي تم إستخدامها في البحث ويتطرق هذا الفصل ايضاً إلى الخواص الحرارية والفيزيائية التي يجب مراعاتها في تصنيع العوازل الحرارية وكذلك العوامل المساعدة المحمولة.

٣. **الفصل الثالث:** يعنى بالجانب العملي في الاطروحة حيث يتطرق الى كيفية تصنيع العينات الخاصة بالبحث وأهم الاختيارات التي تجرى عليها.

٤. **الفصل الرابع:** وهو الفصل الخاص بأستعراض النتائج ومناقشتها والتي تم الحصول عليها من الأختبارات الحرارية والفيزيائية التي أجريت على العينات الخاصة بالبحث.

٥. **الفصل الخامس:** الاستنتاجات والتوصيات.

٢-١: المقدمة Introduction

ويتضمن هذا الفصل شرح للمواد الحرارية والتي تعرف كذلك بالمواد السيراميكية فضلا عن استعراضه لتصنيف هذه المواد وأنواعها ومن ضمنها المواد المستخدمة في هذه الدراسة كذلك يبين المواد الاولية التي نصنع منها المادة المركبة التي تستخدم للصلق ودعم المادة العازلة حرارياً وهي رانتج البولي استر غير المشبع (المادة اللاصقة) وراتنج الايبوكسي وألياف الزجاج (المادة الداعمة). يتطرق هذا الفصل ايضاً الى العوامل المساعدة – طبيعة عملها وانواعها.

٢-٢: المواد الحرارية (الحراريات) Refractories

تُعرف المواد الحرارية أو الحراريات على انها مركبات لعناصر معدنية ولا معدنية تكون على شكل أكاسيد (Oxides)، كربيدات (Carbides) ونتريدات (Nitrides). تمتاز المواد السيراميكية بصفات مميزة عديدة ابرزها درجة إنصهار عالية مترافقة مع موصلية حرارية وكهربائية واطنة، استقرارية حرارية وكيميائية جيدة مما يؤهلها للعمل كعوازل في درجات الحرارة العالية، تمددها الحراري واطئي، مقاومة زحف جيدة (Creep Resistance)، إضافة الى معامل مرونتها العالي (Elastic Modulus). وتمتاز بصلادتها العالية جداً مما يجعلها هشة، ومقاومتها للانضغاط عالية (Compressive Strength) [٦].

تمتاز المواد السيراميكية بالقابلية على تحمل درجات الحرارة العالية بدون ان تنصهر او تتحلل، والقابلية على مقاومتها للظروف الخارجية، بالإضافة على قدرتها على العزل الحراري. المواد الحرارية توجد باشكال مختلفة، كالمطبوقة الحراري هو نوع شائع جداً يتضمن بطانات الافران ، تصنيع الزجاج، المعاملات الحرارية الميتالورجية وبطانات مراحل محطات توليد الطاقة. تفضل

المواد السيراميكية العازلة حرارياً وهذا يعتمد على تركيبها ومنها الاطيان الحرارية، السليكا والحراريات الخاصة [٧]. الجدول (١) -
 (٢) يوضح التركيب الكيميائي لخمس أنواع من الحراريات الشائعة الاستخدام [٧].

الجدول (١-٢): التركيب الكيميائي لخمس أنواع من المواد السيراميكية الحرارية [٧]

Refractory Type	Composition (wt%)							Appaent Porosity %
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	TiO ₂	
Fireclay	٢٥-٤٥	٧٠-٥٠	٠-١	-	٠-١	٠-١	١-٢	١٥-٢٥
High-alumina fireclay	٩٠-٥٠	١٠-٤٥	٠-١	-	٠-١	٠-١	١-٤	١٨-٢٥
Silica	٠-٢	٩٦.٣	٠.٦	-	-	٢.٢	-	٢٥
Periclase	١.٠	٣.٠	٩٠.٠	٠.٣	٣.٠	٢.٥	-	٢٢
Periclase-chrome ore	٩.٠	٥.٠	٧٣.٠	٨.٢	٢.٠	٢.٢	-	٢١

٢-٣: تراكييب المواد السيراميكية

Ceramic Materials Structures

تمتلك المواد السيراميكية تراكييب متنوع من حيث ترتيب الذرات في بنيتها الداخلية وهي:-

٢-٣-١: التركيب المتبلور Crystalline Structure

لاتشبه هذه التراكييب التراكييب المعدنية البلورية من حيث الأواصر والالكترونات وتوزيع الذرات في البنية الداخلية. في هذا النوع من التراكييب يمكن ان تمتلك المادة السيراميكية اكثر من تركيب بلوري في الوقت نفسه (Polymorphism) (نظرية الرص السداسي المحكم)، مثلاً توجد السليكا (SiO₂) بثلاث اشكال بلورية هي الكوارتز (Quartz)، والتراديمايت (Tridymite)، وكريستوبالايت (Cristobalite) اعتماداً على عاملي الضغط ودرجة الحرارة [٨].

٢-٣-٢: تركيب السلاسل Chains Structure

مشابهة لما موجود في اللدائن من حيث اصطفاف الجزيئات الخطية في سلاسل [١].

٢-٣-٣: التركيب الطبقي Layered Structure

تترتب الذرات على شكل صفائح (Sheets) مما يشكل تركيب طبقي للمادة السيراميكية كمثال عليها المايكا (Mica) [١].

٢-٣-٤: التركيب غير المتبلور Non-Crystalline Structure

يسمى هذا التركيب بالحالة الزجاجية (Glass state) ومثل هكذا مواد تعرف بالزجاجيات (Glasses) [١].

٢.٤: تصنيف الحرايات Classification of Refractories

تصنف الحرايات (المواد السيراميكية) إلى ثلاث مجاميع هي:-

٢-٤-١: الحرايات الحامضية Acidic Refractories

تدعى حرايات السليكا بالحرايات الحامضية هذه المواد معروفة لقابليتها لتحمل درجات الحرارة العالية وتستخدم عادة في افران صناعة الزجاج، السقوف المقنطرة الفولاذية (arched roofs of steel) نتيجة استخدام هذه المواد في هذه التطبيقات فدرجات الحرارة المتوقعة لها هي حوالي (١٦٥٠ °C) [٧].

تستخدم هذه المواد لتحسين المقاومة (Strength) والعزل (Insulation) متزامن مع صلادة عالية وخواص ميكانيكية جيدة [١]. وتمتاز ايضاً بمقاومتها للخبث الغني بالسليكا تدعى (خبث حامضي)، وتكون معرضة للمهاجمة بواسطة خبث يحتوي على نسب عالية من اوكسيد الكالسيوم CaO، اوكسيد المغنسيوم MgO (خبث قاعدي)، والتماس مع هذه المواد يجب ان يمنع [٧].

من الامثلة على الحرايات الحامضية هي السليكا والالومينا [١].

٢.٤.٢: الحرايات القاعدية Basic Refractories

المواد الحرارية الغنية بالبريسلز (Periclase) ، او المنغنيسيا (MgO)، تدعى بالحرايات القاعدية ويمكن ان تحتوي عناصر مثل الكالسيوم، الكروم ومركبات الحديد. وجود السليكا غير مفيد أو يقلل من درجات حرارتها العالية [٧].

الحرايات القاعدية مقاومة للخبث الذي يحتوي على نسب عالية من اوكسيد المغنسيوم (MgO) واوكسيد الكالسيوم (CaO) [٧].

تضاف هذه المواد الى السطوح الظاهرة لأكسابها مقاومة ميكانيكية جيدة، كذلك تستخدم في تطبيقات تشكيل المعادن (Metal forming). تكون هذه الحرايات اكثر كلفة من الحرايات الحامضية ومن الامثلة على هكذا مواد هو اوكسيد المغنسيوم (Magnesium Oxide) [١].

٢-٤-٣: الحرايات المتعادلة Neutral Refractories

تستخدم هذه الحرارية عادة لفصل المواد الحامضية عن المواد القاعدية لأنها تميل لمهاجمة بعضها البعض، ومن الأمثلة عليها هو اوكسيد الكروم الثلاثي (Cr_2O_3) (Chromite) [١].

الجدول (٢-٢) يوضح انواع الحرارية الثلاثة ونسب تراكيبها [١].

٢-٤-٤: الحرارية الخاصة

هناك مواد سيراميكية اخرى تستخدم لتطبيقات حرارية خاصة. بعض هذه المواد هي مواد اكاسيد عالية النقاوة، العديد منها ممكن ان تنتج بمسامية منخفضة جداً [٧].

تتضمن هذه المجموعة الالومنيا (Al_2O_3)، والسليكا (SiO_2)، والمغنيسيا (MgO)، والبريليا (BeO)، الزركونيا (ZrO_2) والمولايت ($3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$). المواد الاخرى تتضمن مركبات الكاربيدات بالاضافة الى الكربون والكرافيت [٧]. كاربيد السليكون (SiC) يستخدم في عناصر تحسين المقاومة الكهربائية والمركبات الداخلية للفرن.

الكربون والكرافيت مواد حرارية عازلة جيدة، لكن تطبيقاتها قليلة جداً لتعرضها للاكسدة في درجات الحرارة العالية التي تتجاوز ($800^\circ C$) [٧]. المواد الحرارية الخاصة غالباً الثمن نسبياً.

جدول (٢-٢): أنواع الحرارية وتراكيبها [١]

Refractory	SiO_2	Al_2O_3	MgO	Fe_2O_3	Cr_2O_3
Acidic					
Silica	٩٥-٩٧	-	-	-	-
Superduty fire brick	٥١-٥٣	٤٣-٤٤	-	-	-
High-Alumina fire brick	١٠-٤٥	٥٠-٨٠	-	-	-
Basic					
Magnesite	-	-	٨٣-٩٣	٢-٧	-
Olivine	٤٣	-	٥٧	-	-
Neutral					
Chromite	٣-١٣	١٢-٣٠	١٠-٢٠	١٢-٢٥	٣٠-٥٠
Chromite – Magnesite	٢-٨	٢٠-٢٤	٣٠-٣٩	٩-١٢	٣٠-٥٠

٢-٥: أنواع المواد العازلة Types of insulators

تقسم المواد العازلة حرارياً إلى نوعين رئيسيين هما:

٢-٥-١: المواد العازلة العضوية Organic insulators

وتتضمن المواد العازلة العضوية الصلبة العضوية وكذلك الرغوات العضوية (Organic foams) ومن الأمثلة على هكذا مواد هو البوليستايرين، البوليورثين، رغوة الفينولك، والكاربونات [٩].

٢-٥-١-١: رغوات البوليستايرين Polystyrene foams

توجد هذه الرغوات بنوعين (X-Poly Styrene) و (E- Poly Styrene) كلاهما رغوات ذات خلايا مغلقة ومقاومة لتغلغل ونفوذ الماء ويمتلكان خواص عزل حراري ممتاز، من مميزات هذه الرغوات هي انه اسعار وكلف انتاجها رخيصة مقارنة مع المواد العازلة بسبب وزنها الخفيف واستقرارية ابعادها العالية، هذه المواد ليست سامة او مهيجة وتستخدم في هياكل البنايات (السطوح ، السقوف والجدران) وفي المخازن المبردة. رغوة (X- Poly Styrene) تكاليف انتاجها عالية مقارنة مع رغوة (E- Poly Styrene) لكنها تتميز بمقاومة انضغاط عالية هذه الرغوات تستخدم في تطبيقات عديدة بحيث درجة الحرارة لا تتجاوز 70°C [٩].

٢-٥-١-٢: رغوات البوليورثين Polyurethane foams

تنتج باشكال مختلفة من مزيج من المواد المضافة والعوامل الاخرى، تمتلك هذه الرغوات موصلية حرارية واطئة. معظم اشكالها ذات تكاليف تطبيق متشابهة، تمتلك مدى درجات حرارة يتراوح بين $(110^{\circ}\text{C} \text{ to } -180^{\circ}\text{C})$ [٩].

٢-٥-١-٣: رغوات البولي ايزو سينريت Polyisocynurate foams

كيميائياً تشير الى بوليورثين (PUR) لكنها اعلى كلفة ولديها مقاومة افضل للحرارة. تستخدم في درجات الحرارة المتوسطة للعزل في ادوات وانايبب البتروكيمياويات والغاز، لكنها ايضاً تستخدم في سيارات التبريد، الخزانات وتمتلك مدى درجات حرارة ما بين $(110^{\circ}\text{C} \text{ to } 180^{\circ}\text{C})$ [٩].

٢-٥-١-٤: الرغوات الفينولية Phenolic Foams

مادة ذات اساس فينولي والتي تتفاعل مع الفورمالديهايد وتعامل مع حامض الكبريتيك تعطي رغوات ذات خلية مغلقة بكثافة حوالي (40 kg/m^3) تمتلك موصلية حرارية واطئة جداً وتستعمل في درجات تشغيل تتراوح ما بين $(120^{\circ}\text{C} \text{ to } -180^{\circ}\text{C})$ ، هذه المادة لا تنصهر عندما تتعرض للهب. تنتج بشكل كتل كبيرة جاهزة للقطع وتستخدم في تبطين اجزاء انايبب ومكيفات الهواء [٩].

٢-٥-٢: المواد العازلة غير العضوية Inorganic Insulators

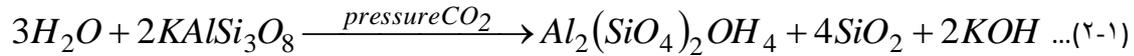
وتتضمن هذه المجموعة المواد العازلة ذات درجات الانصهار العالية ومن الامثلة عليها المواد السيراميكية مثل أكسيد السليكون، أكسيد الألمنيوم، ألياف السيراميك، سليكات الكالسيوم وأوكسيد الكالسيوم وغيرها من المواد العازلة [٩].

٢-٦: أكسيد السليكون – (السليكا)

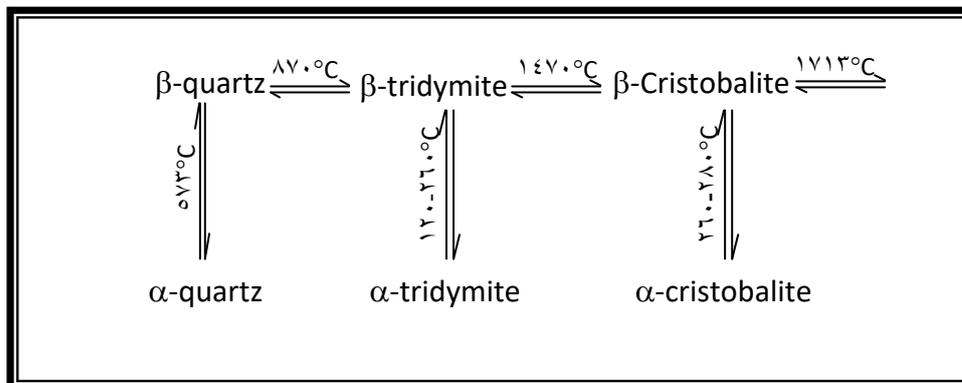
Silicon Oxide-(Silica)

تعتبر السليكا من العوازل غير العضوية ومصادرها الأساسية الرمل (Sand)، والكاولين (Kaolin)، الفلدسبار (Feldspar)، والفليت (Flint). وتتواجد على شكل أكاسيد حرة أو تشترك في الأكاسيد المعدنية كالسليكات (Silicates) [١].

يمكن انتاج السليكا من الفلدسبار ($KAlSi_3O_8$) تحت ظروف معينة كما مبين في المعادلة [١١، ٥١]:



تمتلك السليكا تركيب بلوري منسق ولها ثلاثة اشكال بلورية رئيسية هي الكوارتز (Quartz) التراديميمايت (Tredymite) والكرستوبلايت (Cristobalite). تظهر اطوار واشكال اخرى للسليكا باختلاف درجة الحرارة حيث ان الشكل المستقر في درجة حرارة الغرفة يسمى الفا-كوارتز (α -Quartz)، تحت ($573^\circ C$) وبيتا-كوارتز (β -Quartz) ما بين ($867^\circ C - 1470^\circ C$)، والكرستوبلايت بين ($1470^\circ C - 1710^\circ C$) وعند حصول تغيرات في درجات الحرارة ينتج بنى جديدة معقدة نسبياً تكون مشتقة من البنى الرئيسية الثلاثة للسليكا كما في الشكل (٢-١) الذي يبين التحولات الطورية للسليكا [١٢، ٥١].



الشكل (٢-١): مخطط يوضح التحولات الطورية للسليكا [٥١]

السليكا مسحوق ابيض اللون، ذات صلادة مقاومة لصلادة السليكون النقي، زيادة نسبتها في المادة ترفع من درجة حرارة الانصهار، زيادة مقاومتها للاحماض وانخفاض التمدد للمادة اما عند انخفاض نسبتها تؤدي الى زيادة السيولة عن الانصهار تستخدم السليكا في الطلاء بسبب ترسيبها العالي، وسهولة استخدامه في انظمة المقاومة للحرارة القليلة الكلفة [١٠].

تستخدم السليكا في الكثير من الصناعات ومنها صناعة العوازل الحرارية حيث تستخدم في صناعة الطابوق الحراري الذي يستخدم في الأفران والمسمى بطابوق السليكا وهو من افضل واكثر الحرارية استخداماً في بناء معظم الأفران المعدنية ولهذا النوع مقاومة ميكانيكية عالية، مقاومة نخر جيدة ويحافظ غالباً على جسائه حتى عند درجة انصهار الكرسنوبلايت كما ان له موصلية حرارية عالية نسبياً [٨].

يستخدم السليكا في تطبيقات عديدة منها استخدامات بصرية وتتضمن تغطيات (SiO_2) في العواكس والمجوهرات والمنتجات الاخرى هذه التغطيات ممكن ان تقلل الانعكاس بالقرب من مدى الاشعة تحت الحمراء، والسليكا مثالية عند استخدامها مع كبريتيد الخارصين (ZnS) كتغطيات عاكسة، في التطبيقات الالكترونية كأغشية لثاني اوكسيد السليكون في المتسعات ذات الشرائح الرقيقة ومركبات المواد شبه الموصلة.

انواع مختلفة من خواص العزل ممكن الحصول عليها باستخدام السمك المناسب لاغشية (SiO_2)، للحماية من التآكل والبلى حيث ترسب على سطوح مرايا الالمنيوم والعدسات والشبكات [٤٥]، كذلك تدخل السليكا في صناعة الزجاج ويدعى زجاج الكوارتز والذي يتميز بمقاومة ميكانيكية عالية ومقاومته العالية للصدمة الحرارية [١٣].

الجدول (٢-٣) يوضح خواص السليكا (الطور المستقر) [١٠]. والشكل (٢-٢) يوضح شكل مسحوق السليكا والشكل (٣-٢) يوضح الشكل البلوري للسليكا [٥٣].

الجدول (٢-٣): الخواص الفيزيائية للسليكا الطور المستقر (الكوارتز) [١٠]

Property	Value
Fusion Temperature ($^{\circ}C$)	١٧٢٠
Density (g/cm^3)	٢.٦٥
Molecular Weight	٦٠.١
Expansion ($\times 10^{-6}/^{\circ}C$)	٠.٣٥



الشكل (٢-٢): مسحوق السليكا.



الشكل (٢-٣): الشكل البلوري للسليكا. [٥٣]

٢-٧: أوكسيد الألمنيوم (Al_2O_3)

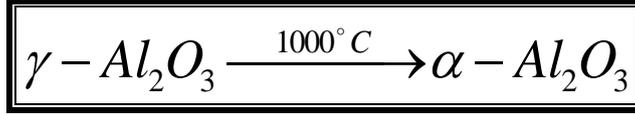
Aluminum Oxide

تعتبر الالومينا من العوازل غير العضوية ومصدرها الاساسي الكاؤولين، الفلدسبار، الأطينان (Clays) وهيدريد الالومينا (Alumina Hydrates). تمتاز الالومينا بمقاومتها العالية لدرجات الحرارة العالية وتحافظ على هذه المقاومة الى ما بعد ($1100^{\circ}C$) ، كما انها تعطي صلادة عالية بمقدار (٢-٤) مرات من صلادة كاربيد التنكستن او الزركونيوم وذات مقاومة عالية للحك والهجوم الكيميائي [٦، ١٠، ١٥] والجدول (٢-٤) يوضح بعض خواص الالومينا الفيزيائية [١١].

الجدول (٢-٤): الخواص الفيزيائية لأوكسيد الألمنيوم [١١]

Property	Value
Fusion Temperature ($^{\circ}C$)	٢٠٤٠
Density (g/cm^3)	٣.٩٨
Molecular Weight	١٠٢
Expansion ($\times 10^{-6}/^{\circ}C$)	٠.٠٦٣

لأوكسيد الألمنيوم عدد من البنيات البلورية المختلفة، تعود كل واحدة منها الى صورة مختلفة من Al_2O_3 . يتكون كما (γ) Al_2O_3 من تسخين $Al(OH)_3$ عند درجة حرارة $450^{\circ}C$ اما الفا Al_2O_3 (α - Al_2O_3) فيتكون من تسخين كما Al_2O_3 عند $1000^{\circ}C$ لمدة طويلة كما مبين في الشكل (٢-٤) [٥٢].



الشكل (٢-٤): مخطط التحول الطوري للالومينا [٥٢].

تدخل الالومينا في العديد من التطبيقات الصناعية نتيجة لما تمتاز به من خواص فهي تأتي بعد السليكا من حيث أهمية الاستخدام فانها تستخدم في صناعة العوازل الحرارية، صناعة الزجاج، الطابوق الحراري وعند مزجها مع السليكا تمنع التبلور للجسم وتعطيه استقرارية كيميائية ضد التزجيج حيث تسيطر عليه بمنع التحول الى الخزف وذلك بتكوين اوكسيد وسطي (Intermediate Oxide) يساعد في بناء رابط كيميائي قوي بين المنصهر والسليكا، كما تدخل في صناعة ادوات القطع وبعض الاجزاء الميكانيكية التي تحتاج لصلادة عالية، كما تستخدم في عملية الصقل [٦، ١٠، ١٥].

الالومينا الداخلة في صناعة الزجاج تعمل على اعطائه المتانة والصلادة المطلوبة ولكن بنسب محددة حيث اذا ازدادت نسبتها تمنع انصهار الزجاج بالشكل الكافي واذا قلت نسبتها سوف تفتقر الى الصلادة والمقاومة لدرجات الحرارة العالية، كما تخفض معامل التمدد والتبلور للزجاج بينما تزداد كل من مقاومة الشد ومقاومتها للحوامض وعندما تحل بدلاً من السليكا تجعل الزجاج اكثر مطيلية ومرونة ولكن استخدام الالومينا المكسنة لاتعطي الخواص نفسها في الزجاج او الطلاء بالمينا بينما الالومينا المهتردة تعمل على تخشين الزجاج اذا كان ذو جزيئات ناعمة الحجم وتزيد من شفافية الطلاء بالمينا وذلك بتوليد فقاعات غازية بالمنصهر الزجاجي كما تستخدم الالومينا في تصنيع هياكل الطين وفي المائئات (Fillers) بدلاً من الفلينت (Flint) مما يزيد من درجة حرارة الحرق وصلادة الجسم المفخور [١٠].

الشكل (٢-٥) يوضح شكل مسحوق الالومينا والشكل (٢-٦) يوضح شكل كتلة الومينا [٥٣].



الشكل (٢-٥): مسحوق الالومينا.



الشكل (٢-٦): كتلة الالومينا. [٥٣]

٢-٨ : اوكسيد الكالسيوم Calcium Oxide

إن المصدر الاساسي لأوكسيد الكالسيوم هو حجر الدولومايت (Dolomite) والكولميناييت (Colemanite) والولستوتايت (Wollastonite) وحجر الكاليسا ذات لون ابيض غير بلوري ويصنف من الحرارية القاعدية. يمكن الحصول عليه بشكل حر من خلال تسخين هايدروكسيد أو نترات أو كربونات الكالسيوم أو بواسطة حرق الكالسيوم في الاوكسجين [١١]. وللأغراض الصناعية الواسعة فإن اوكسيد الكالسيوم يتم انتاجه بواسطة تسخين كربونات الكالسيوم لدرجات حرارية عالية في تنور كلسي

(Lime-Kiln) [١١]. أوكسيد الكالسيوم لايتفاعل في الظروف النقية الجافة عند درجة حرارة الغرفة مع كل من ثاني اوكسيد الكربون، ثاني اوكسيد الكبريت (Sulphure dioxide) خماسي اوكسيد النتروجين (Nitrogen Pentaoxide)، الكلور (Chlorine)، أو كلوريد الهيدروجين الجاف ولكنه يتفاعل مع الحوامض والأكاسيد الحامضية ليكون املاح الكالسيوم (Calcium Salts) [٦٣]، فمثلاً يتفاعل اوكسيد الكالسيوم مع اوكسيد السليكون (اوكسيد حامضي) ليكون سليكات الكالسيوم في درجات الحرارة العالية [١٦] وحسب المعادلة الاتية:



لايتواجد اوكسيد الكالسيوم بشكل نقي في الطبيعة بل يتواجد ضمن خامات متوفرة في التربة منها الكاليسايت (Calcite) والاراغونايت (Aragonite) وحجر الكلس. يستخدم اوكسيد الكالسيوم او الكاليسا في عدة مجالات صناعية منها صناعة السيراميك، كذلك يضاف الكاليسا الى الصودا (Soda) والبوتاش (Potash) لتحسين خواص الصلادة والاستقرارية والتمدد [١٦]. والجدول (٢-٥) يوضح خواص اوكسيد الكالسيوم الفيزيائية [١٣] والشكل (٢-٧) يوضح شكل مسحوق اوكسيد الكالسيوم.

الجدول (٢-٥): الخواص والفيزيائية لأوكسيد الكالسيوم [١٣]

Property	Value
Fusion Temperature (°C)	٢٥٧٠
Density (g/cm ^٣)	٣.٣
Molecular Weight	٥٦.١
Expansion (×١٠ ^{-٦} /°C)	٠.١٤٨



الشكل (٧-٢): مسحوق اوكسيد الكالسيوم.

٢.٩: كاربونات الكالسيوم Calcium Carbonate

لكاربونات الكالسيوم صورتان متبلورتان هما الكاليسايت (Calcite) والذي يكون سداسي التركيب (Hexagonal) ، والأرغونايت (Aragonite) والذي يكون معيني التركيب (Rhombic) [١١].

يتواجد كل من هذين النوعين بوفرة في الطبيعة ولكن الكاليسايت هو الأكثر توفراً، اكتشف الكاليسايت $CaCO_3$ في الاماكن حول كهوف البازلت (Basalt) في جزيرة اسكافورد [١٧]. كاربونات الكالسيوم يأتي في مجموعة الكاربونات للمعادن بالاضافة الى مجموعة الكاليسايت، وهو احد اكثر المواد الموجودة في هذا اليوم شيوياً . كيميائياً يتكون كاربونات الكالسيوم من الكالسيوم (Ca)، الكربون (C) والاكسجين (O) ليكون $CaCO_3$ ، الكلمة كالسايت تأتي من الكلمة الاغريقية كالكس (Calix) [١٧].

الكاليسايت عادة يكون أما عديم اللون، ابيض او رمادي لكن من الممكن ان يحتوي على مساحات من أي لون، يمتلك بريق زجاجي مع كسر محاري مثل قطع زجاجية متفلورة [١٧].

يمتلك الكاليسايت بنية بلورية مكتظة يعود ذلك الى تقاطع البلورات حيث لديه مستويات كسر مثالية على ثلاث جهات غير متعامدة [١٧].

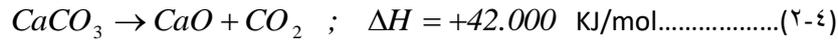
هناك العديد من المميزات في الكالسايت، البنية بلورية تكون على شكل رواسب كلسية ثقيلة ومثلثة الشكل ويتفلور تحت ضوء (UV) الى الوان مختلفة اعتماداً على التركيب الكيميائي وبعض العينات تستمر بالبريق حتى عند ابتعاد مصدر الضوء عنها [١٧].

يتفاعل مع أي نوع من انواع الحوامض المختلفة بحيث يجعله يفور (يرغي)، لا يكون خطراً عندما يكون قريباً من الشعلة، يحترق ويمتص الحوامض [١٧].

تتواجد كاربونات الكالسيوم في المرجان (Coral) بشكل أراغونايت [١٨]. تحضر كاربونات الكالسيوم مختبرياً كدقائق مرسبة ناعمة (Fine Precipitate) بواسطة إضافة محلول كاربونات الأمونيوم (Ammonium Carbonate) والأمونيا (Ammonia) الى محلول نترات الكالسيوم (Calcium Nitrate) والذي ينقى بواسطة اعادة البلورة (Recrystallisation) كما مبين في المعادلة التالية [١١].



تتحلل كاربونات الكالسيوم عند تسخينها الى اوكسيد الكالسيوم وثاني اوكسيد الكربون وهذا التكسر ماص للحرارة [١٦] وحسب المعادلة الاتية:



تذوب كاربونات الكالسيوم في الحوامض المخففة (Dilute Acids) منتجة املاح الكالسيوم (Calcium Salts) وثاني اوكسيد الكربون والماء [١١] وحسب المعادلة الاتية:



تذوب في الماء ولكنها تذوب ببطئ فيه اذا تواجد ثاني أوكسيد الكربون فيه.

الجدول (٢-٦) يوضح الخواص الفيزيائية لكاربونات الكالسيوم [١٧] ، الشكل (٢-٨) يوضح شكل مسحوق كاربونات الكالسيوم والشكل (٢-٩) يوضح الشكل البلوري لكاربونات الكالسيوم [٥٣].

الجدول (٢-٦): الخواص الفيزيائية لكاربونات الكالسيوم [١٧]

Property	Value
Fusion temperature (°C)	٨٢٥
Density (g/cm ^٣)	٢.٧١
Molecular weight	١٠٠.٠٩

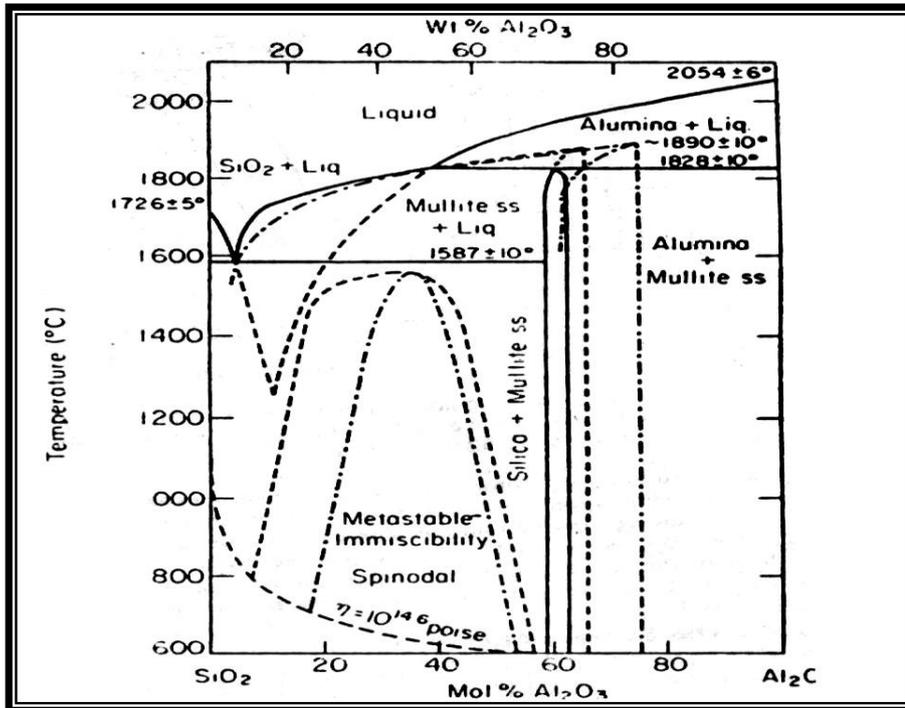


الشكل (٨-٢): مسحوق كربونات الكالسيوم.

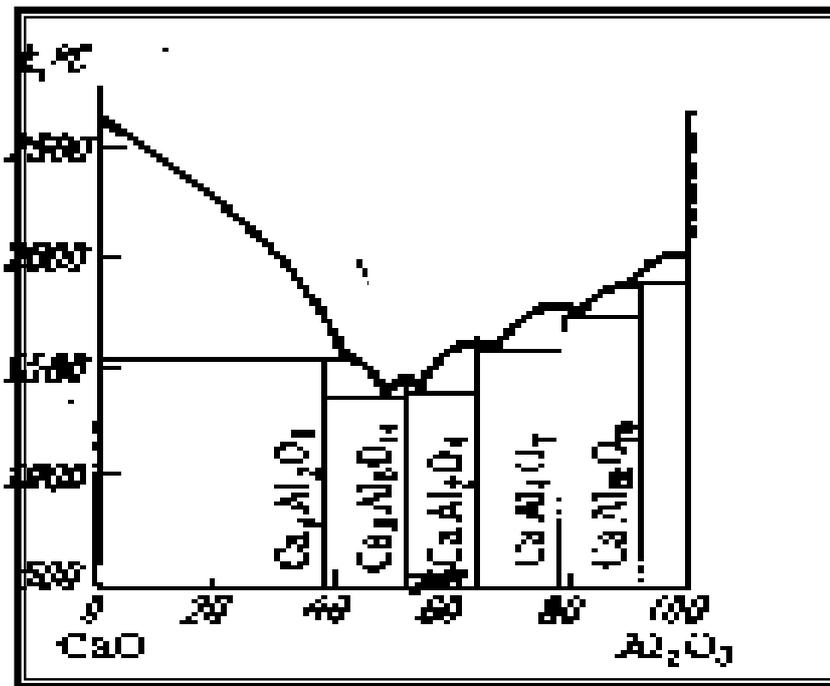


الشكل (٢-٩): الشكل البلوري لكاربونات الكالسيوم [٥٣].

كما بينا بنظرة سابقة المواد المستخدمة في تصنيع المواد العازلة فان خلط المواد أعلاه سيؤدي إلى إنتاج أطوار بنيوية بين المواد الأساسية كما مبين في الشكل (٢-١٠) الذي يوضح مخطط أطوار السليكا والالومينا [٥١] والشكل (٢-١١) الذي يوضح مخطط أطوار الالومينا واوكسيد الكالسيوم [٥٤].



الشكل (٢-١٠) مخطط التوازن لنظام الومينا-سليكا [٥١]



الشكل (٢-١١) : مخطط اطوار الومينا - اوكسيد الكالسيوم [٥٤]

٢-١٠: المواد المترابكة Composite Materials

٢-١٠: المواد المترابكة Composite Materials

تعرف المواد المترابكة على انها مادة صلبة غير متجانسة تنتج من دمج مادتين او اكثر مختلفة من حيث الخواص من اجل استنباط خواص جديدة تختلف عن خواص المواد الاصلية [١٩].

يعود تاريخ تصنيع المواد المترابكة الى العصور القديمة ففي حوالي (٥٠٠٠) سنة قبل الميلاد استخدم البابليون نشارة الخشب في تقوية طابوق الطين. وكذلك استخدم الرومان قديماً الورق والخرسانات وكلاهما من المراد المركبة [١٩].

البوليمرات ذات درجات الحرارة العالية تصنع للاستخدامات الخاصة مثل صناعات المركبات الفضائية الأساس لهذه الراتنجات عادة هي معادن تعطي متانة ومقاومة عالية ولكن هذه تتغير مع زيادة وزن المركب ومن الامثلة على هذه المعادن هي الالمنيوم Al، المغنيسيوم Mg، التيتانيوم Ti [٢٠].

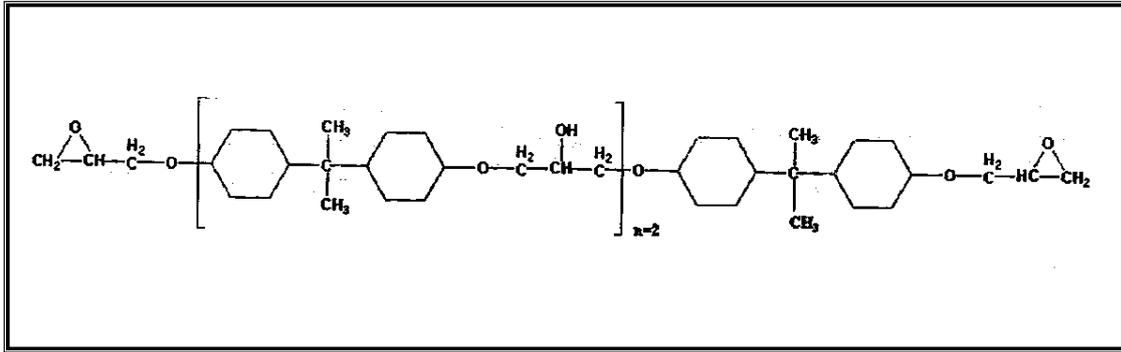
من الراتنجات الاكثر شيوعاً في الاستخدام راتنج البولي أستر غير المشبع (Unsaturated Polyester Resin) وراتنج الايبوكسي (Epoxy Resin). ينتمي راتنج البولي أستر غير المشبع الى مجموعة الراتنجات المتصلدة بالحرارة (Thermosetting Resins) حيث تتميز هذه الراتنجات بعدم امكانية تشكيلها بالحرارة بعد تحويلها الى مادة صلبة نتيجة لتكوين سلاسل بوليميرية طويلة ومتشابكة مع بعضها وهو ما يسمى بالربط التشابكي (Cross Linking) [٢٢]. يستخدم في تحضير راتنجات البولي أستر ومن ضمنها البولي أستر غير المشبع أحماض غير مشبعة ثنائية القاعدة (Dibasic Acids) مثل (Terephtalic , Orthophtalic, Isophtalic) تتفاعل هذه الأحماض مع الكحوليات ثنائية الهيدروكسيل (Dihydric Alcohol) مثل (Propylene Glycol ,Ethylene Glycol) ثم يذوب هذا الخليط في مونومير مثل الستايرين (Styrene) [٢٢]. يتميز راتنج البولي أستر غير المشبع بخواص حرارية جيدة اذ يتحمل الحرارة لغاية (٢٦٠°C) وكذلك يمتاز بمقاومة كهربائية ممتازة ومقاومة كيميائية للمذيبات والاحماض والاملاح ومقاوم للتآكل والتأثيرات البيئية ويمتاز بفعالته العالية ولزوجته المنخفضة ولكنه يتصف بالضعف والهشاشة والجدول (٢-٧) يبين خواص راتنج البولي أستر العامة والشكل (٢-١٢) يوضح التركيب الكيميائي لراتنج البولي أستر غير المشبع.

الجدول (٢-٧)

خواص راتنج البولي أستر غير المشبع [٢٥]

Mechanical Properties				
Property	Value	Conditions		
		State ^١	State ^٢	ASTM
Flexural Modulus (Mpa)	١٤٤٩- ١٩٣٢	٢٣°C	-	D٧٩٠
Tensile Strength (Mpa)	٣٤-٤٣	At break	-	D٦٣٨
Flexural strength (Mpa) at yield or break	٤٩-٦٠	-	-	D٧٩٠
Elongation at Break (%)	١٥٠-٣٠٠	-	-	D٦٣٨
Hardness	١٠١-١١٥	Rockwell	-	D٦٣٨
Lzod Impact (J/ cm of notch) ١/٨" thickspecimen unless notch	No break	-	-	D٢٥٦A
Thermal Properties				
Property	Value	Conditions		
		Pressure	State	ASTM
Coef of Thermal Expansion (١٠ ^{-٦} /°C)	٢٠ ٨٢-١٢٧	- ٠.٤٦Mpa	- -	D٦٩٦ D٦٤٨
Deflection Temperature (°C)	١٤-٥٢	١.٨٢ Mpa	-	D٦٤٨
Thermal Conductivity (W/m.°C)	٠.٢٨٨	-	-	C١٧٧
Physical & Electrical Properties				

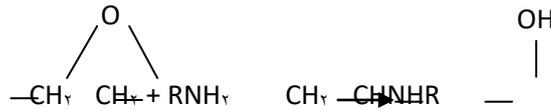
والشكل (٢-١٣) يوضح التركيب الكيميائي لراتنج الايبوكسي [٢٦]



ان المركبات الاخرى التي تحتوي على مجاميع الهيدروكسيل مثل الريسورسينول (Resorcinol) وهيدروكسي كوينون (hydroxy quinone)، والكلايكولات والكليسيرول يمكن ان تحل محل بس فينول -أ.

تعالج الراتنجات الايبوكسية بعدة انواع من المواد من ضمنها البولي امين والبولي اميدات والبولي كبريتيدات وراتنجات يوريا-فورمالديهايد وراتنجات فينول- فورمالديهايد والحوامض او الحوامض اللامائية وذلك من خلال تفاعلات التكاثف او الازدواج [٢٦].

يتضمن التفاعل مع الامينات فتح الحلقات الايبوكسية كي يعطي ارتباط الـ β -هيدروكسي أمين (β -hydroxyamine linkage)



تتفاعل الحوامض والحوامض اللامائية من خلال استرة مجاميع الهيدروكسيل الثانوية الواقعة على راتنج الايبوكسي وكذلك مع مجاميع الايبوكسيد. ويمكن ان تتفاعل الراتنجات الفينولية والامينية بعدة طرق وهذه تتضمن تكاثف مجاميع الميثانول مع مجاميع الهيدروكسيل الثانوية لراتنج الايبوكسي وتفاعل المجاميع الايبوكسية مع هيدروكسي الفينيل والمجاميع الامينية ويمكن معالجة الراتنجات الايبوكسية بواسطة عملية البلمرة بالايونات الموجبة وذلك باستعمال حوامض لويس كعوامل مساعدة مثل BF_3 ومعقداتها [٢٦].

تتميز راتنجات الايبوكسي كونها تمتلك لزوجة منخفضة في درجة حرارة الغرفة، مدة عمل طويلة، امتصاص للرطوبة منخفض، مرونة، فعالية كيميائية استتالية عالية، مقاومة كيميائية ومقاومة للتآكل جيدة، مقاومة للحرارة جيدة، مقاومة للهب [٢٧].

تستعمل الراتنجات الايبوكسية لتغطية سطوح المواد وهذه الاغطية تتصف بالصلابة والمرونة وقابلية الالتصاق ومقاومة المواد الكيميائية، وبالإضافة الى ذلك يمكن استعمال الراتنجات الايبوكسية في تقنيات التصفيح والقولبة، حيث يمكن عمل اجهزة مكونة من الالياف الزجاجية المقواة، والتي تكون قوتها الميكانيكية ومقاومتها للمواد الكيميائية وخواص عزلها الكهربائي افضل من الراتنجات التي يحصل عليها من البولي استر غير المشبع وتتضمن الاستخدامات الاخرى المهمة لهذا الراتنج صناعة مواد التغطية الارضية والمواد اللاصقة واللاحمة والرغوة و مواد التسطيح و مواد مثبتة [٢٦].

٢.١٠.٢ مادة التقوية Reinforcing Material

مواد التقوية تمتاز بالمقاومة العالية والمطيلية المنخفضة ولذا تستخدم في تقوية واسناد المادة الاساس ولتوفير افضل تقوية هنالك اساليب وطرق متعددة للتقوية منها التقوية بالدقائق (Reinforcing by Particulate) والتي تكون بقطر اكبر من (١ μm) وبأشكال مختلفة منها (الابرية والكروية والقشرية)، كما قد تكون فلزية او لافلزية. تقترن التقوية المتحققة بمقدرة الدقائق على مقاومة حركة الانخلاعات في المادة الأساس ولتحقيق ذلك يجب ان تكون هذه الدقائق ناعمة وموزعة بشكل كاف ومنتظم. التقوية بالثشت (Reinforcing by Dispersion) يكون قطر الدقائق اقل من (٠.١ μm) وبكسر حجمي (١٥-١) وبذلك تزداد مقاومة حركة الانخلاعات في المادة الأساس وتصبح هي المسؤولة عن تحمل الجزء الرئيسي من الحمل [٢١].

أما أكثر أساليب التقوية شيوعاً واستخدماً فهي التقوية بالاليفاف (Reinforcing by Fibers) وتكون الاليفاف بانواع واشكال مختلفة فمنها ما يكون بشكل مستمر او مقطع او بشكل ظفائر محاكاة [٢١].

اليفاف التقوية للمواد المركبة يجب ان تمتلك كتلة ليفية مستمرة ، معامل مرونة عالي، مقاومة عالية، مؤخرأ تم تطوير اليفاف التقوية لمواد الاليفاف (Wires)، اليفاف السيراميك والاليفاف القصيرة المقطعة [٢٠].

بصورة عامة عمليات تصنيع الاليفاف الابتدائية تتضمن خلط وتسخين المادة الاولية (Raw Materials) للحصول على منصهر. المادة الذي يتم بثقه خلال نوزل او خلال سلسلة متتالية من العجلات الدوارة التي تسحب المنصهرة الى اليفاف مستمرة او رقائق او حصيرة محاكاة. الاليفاف ومن الممكن معالجتها حرارياً لتحسين خواصها الفيزيائية [٢٠].

هناك انواع عديدة من الاليفاف التي تستخدم لتقوية المادة الاساس ومنها اليفاف الكربون، اليفاف كفلر والاليفاف الزجاجية والاخيرة اكثر انواع الاليفاف استخداماً حيث تتصف الاليفاف الزجاجية بالكثير من الخواص الفيزيائية والكيميائية الجيدة مثل الشفافية (Translucibility) درجة الانصهار العالية ومقاومة المواد الكيميائية اضافة الى سهولة الانتاج حيث تنتج باشكال مختلفة منها ممتدة ايكون على شتى كل ظفائر محاكاة (Woven Roving) او بشكل ألياف مقطعة (Chopped Strand) أو بشكل نسيج زجاجي (Glass Fabric) . او على شكل خيوط وأشربة [٢١]. الجدول (٢-٨) يوضح مكونات ألياف الزجاج ونسبها المنوية.

يعبر عن كمية الاليفاف في المادة المركبة بدلالة الكسر الحجمي (V_f) (Volum Fraction) وهي النسبة بين حجم الاليفاف الى حجم المادة المركبة V_c [٢١].

$$\%V_F = \frac{V_f}{V_c} \times 100 \dots\dots\dots(٢-٦)$$

اما الكسر الوزني (Weight Fraction) ممكن ربطه بعلاقة مع الكسر الحجمي وكما يأتي:

$$\%V_F = \frac{V_f}{V_c} \times 100 = \psi \dots\dots\dots(٢-٧)$$

$$\phi = V_F = \frac{\psi / \rho_f}{\frac{\psi}{\rho_f} + \frac{w_m}{\rho_m}} = \frac{1}{1 + \frac{w_m}{\rho_m} \cdot \frac{\rho_f}{\psi}}$$

$$\phi = \frac{1}{1 + \frac{w_m}{\psi} \cdot \frac{\rho_f}{\rho_m}} = \frac{1}{1 + \frac{1 - \psi}{\psi} \cdot \frac{\rho_f}{\rho_m}}$$

حيث ان:

w_m, w_f : وزن الليف والمادة الاساس.

ρ_m, ρ_f : كثافة الليف والمادة الاساس.

ψ : الكسر الوزني للاليفاف في المادة المركبة.

φ : الكسر الحجمي.

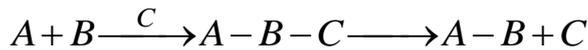
الجدول (٨-٢): مكونات ألياف الزجاج ونسبها المئوية [٤١]

Compound	Percentage
Silicon Dioxide	٥٢-٥٦
Aluminum Oxide	١٢-١٦
Boric Oxide	٥-١٠
Sodium Oxide & Potassium Oxide	٠-٢
Magnesium Oxide	٠-٥
Calcium Oxide	١٦-٢٥
Barium Oxide	-
Titanium Dioxide	٠-١.٥
Zinc Oxide	-
Iron Oxide	٠-٠.٨
Zirconium Oxide	-
Iron	٠.١

٢-١١: العوامل المساعدة Catalysts

لغرض حصول أي تفاعل كيميائي بين جزيئين متشابهتين أو مختلفتين لتكوين ناتج التفاعل يتطلب الحصول على تصادم أو تداخل بين الجزيئين المتفاعلتين يحصل نوع من الاندماج بين الأوربيتالات الجزيئية المكونة لهما وكسر بعض الأواصر وتكوين أواصر جديدة ومركبات تختلف في خواصها الفيزيائية والكيميائية عن الجزيئات المتفاعلة، ولقد وجد أن إضافة كمية قليلة من المواد المعدنية للعناصر الانتقالية إلى وسط بعض التفاعلات، أن هذه التفاعلات تجري بسرعة أعلى في حالة وجود العناصر المعدنية عما عليه في حالة عدم وجودها ولقد تم استخدام كلمة العامل المساعد (Catalyst) على هذه المواد الغريبة [٤].

إن التأثير الأولي للعامل المساعد يتركز على زيادة معدل سرعة التفاعل الممكنة بدونه وبالنتيجة زيادة معامل سرعة التفاعل. تتم عملية التنشيط باستخدام العوامل المساعدة المعدنية أو معقداتها وذلك بأن يقوم العامل المساعد باختزال الطاقة التنشيطية (Activation energy) للتفاعل إذا ما قورنت بالنسبة إلى طاقة العملية أو التفاعل ويعتقد أن العامل المساعد يعمل على زيادة اقتراب الجزيئات المتفاعلة من بعضها ومن حالة التفاعل عن طريق تكوين معقدات ذات استقرارية وأطنة مع أحد المواد المتفاعلة [٤].



نظراً لكون العوامل المساعدة المستخدمة في الصناعة بصورة عامة تكون معقدات غير مستقرة قسم منها يكون في نفس طور المواد المتفاعلة ويكون القسم الآخر في طور يختلف عن طور المواد المتفاعلة لذا تقسم إلى قسمين:

أولاً: العوامل المساعدة المتجانسة Homogeneous Catalysts

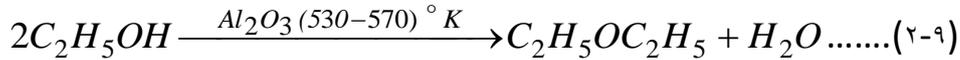
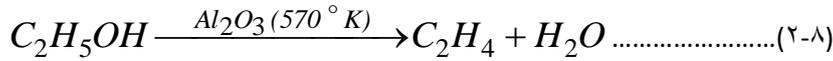
ان استخدام العوامل المساعدة المتجانسة اصبح مهما من الناحية الصناعية لزيادة فعاليتها وانتقائيتها، وتعرف التفاعلات المتجانسة بانها التفاعلات التي يكون فيها كافة مكونات التفاعل علاوة على العامل المساعد في نفس الطور [٤].

عند دراسة التفاعلات المحفزة المتجانسة يستوجب القول ان كافة المواد المتفاعلة والعامل المساعد في نفس الطور السائل أي في المحلول علاوة على كون العامل المحفز المستخدم في التفاعل عبارة عن جزيئة ذائبة كلياً في المحلول في حالة العناصر الانتقالية او خليطاً من العوامل المساعدة متحللة وذائبة كلياً في الوسط [٤].

ثانياً: العوامل المساعدة غير المتجانسة Heterogeneous Catalysts

ان اغلب التفاعلات الكيماوية الصناعية تجري بوجود محفزات معدنية صلبة او اكاسيدها او كبريتيداتها ومن الامثلة على ذلك استخدام معدن الحديد في عملية تحضير الامونيا من غازي الهيدروجين والنتروجين، وعمليات الحل الحفازي للهيدروكربونات مستقيمة السلسلة بوجود سليكات الالمنيوم حيث يتم تحويل الهيدروكربونات الى مشتقات ذات اوزان جزيئية قليلة يستفاد منها في صناعة الكازولين [٤].

ان معظم العوامل المساعدة غير المتجانسة هي معادن فلزية مثل Cr, Pt, Pd, Cu, Ag, W, Mn والاكاسيد المعدنية المألوفة التي تستخدم بشكل عوامل مساعدة غير متجانسة مثل Cr_2O_3 ، SiO_2 ، Al_2O_3 ان الاهمية الرئيسية للعوامل المساعدة غير المتجانسة في التفاعلات الكيماوية والصناعية عامة تعتمد على اضافة عنصر او مجموعة عناصر خارجية الى وسط التفاعل لغرض الحصول على فعالية عالية جداً ولكن الفعالية وحدها ليست الاساس العملي في اختبار العامل المساعد للاغراض الصناعية بل هناك عوامل اخرى منها كلفة العامل المساعد وسهولة التحضير ونصف عمر العامل المحفز وانتقائيته. فعلى سبيل المثال البلاتين اكثر فعالية من النيكل في عمليات الهدرجة ولكن كلفته اكثر خمسين مرة من النيكل لذلك في الصناعة يتم اختبار العامل المحفز ذي الانتقائية العالية والقليل الثمن لغرض تقليل الكلفة الكلية للانتاج [٤].



وتصف العوامل المساعدة غير المتجانسة الى:

أ. المعادن Metals

تكون اضافة المعادن من الناحية العملية مهمة في التفاعلات التي تتضمن تفاعلات اضافة او حذف جزيئة من الجزيئات لجزيئة او اكثر من الهيدروجين ويعود السبب في ذلك الى قابلية المعدن على تحلل الهيدروجين وتحويله الى هيدروجين ذري لذلك يستخدم العناصر مثل الذهب والبلاتين [٤].

ب. الاكاسيد المعدنية Metal Oxides

من هذه الاكاسيد هو اوكسيد الالمنيوم Al_2O_3 ، اوكسيد السليكون SiO_2 وتمتاز بخمولها الكيماوي [٤].

٢-١٢: اختبار التعرية الحرارية Thermal Erosion Test

يستخدم هذا الاختبار للعوازل الحرارية التي تتحمل درجات حرارية عالية تتجاوز (3000°C) إذ يتعذر الحصول على هكذا درجات حرارية عن طريق اجهزة قياس الموصلية الحرارية الاعتيادية لذلك تستخدم انواع مختلفة من الشعلة الحرارية لتوليد درجات حرارية مختلفة ولذا يطلق عليه احياناً اختبار الشعلة الحرارية (Torch test) [٣].

الجدول (٩-٢) يوضح مدى درجات حرارة الشعلة الحرارية المتولدة من عدد من الغازات.

في هذا الاختبار يكون من الصعب حساب معامل الموصلية الحرارية لذلك يلجأ الى طرق اخرى لحساب مدى العزل الحراري في درجات الحرارة العالية وهناك طريقتان لحساب قدرة المادة على مقاومة حرارة اللهب العالية ومقدار عزلها الحراري وهاتان الطريقتان هما:-

١. حساب درجة حرارة السطح Surface Temperature

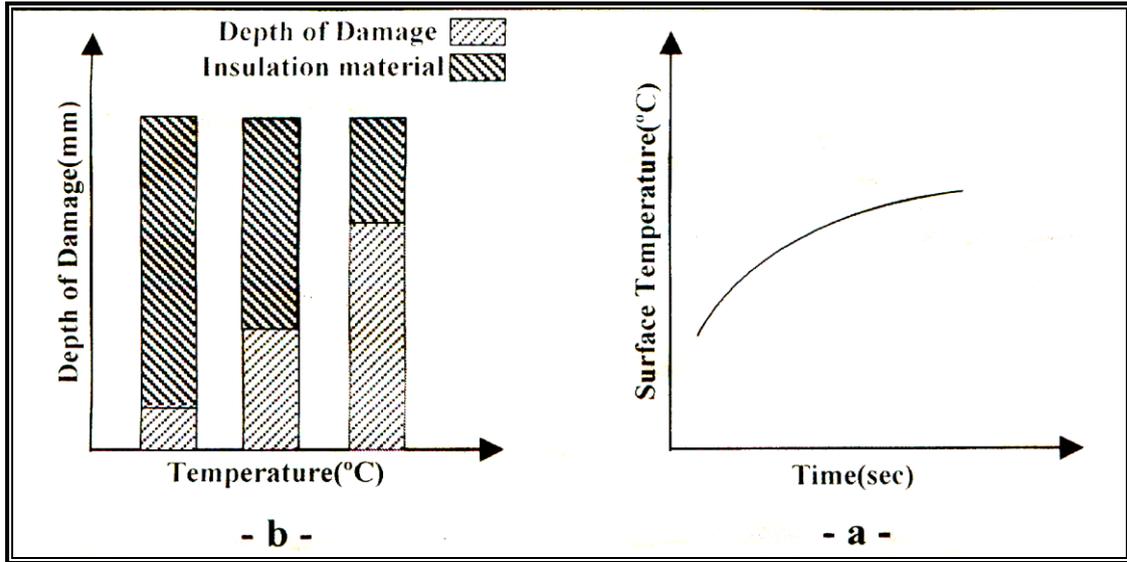
في هذه الطريقة، يتم وضع محرار الكتروني على السطح الواقع خلف الشعلة لمعرفة مقدار الحرارة المنتقلة خلال المادة العازلة [٢١]. والشكل (٢-١٤-a) يوضح رسماً توضيحياً لهذه الطريقة.

٢. حساب عمق الضرر Depth of Damage

بعد تسليط الشعلة الحرارية لفترة زمنية معينة يقاس عمق الضرر في المادة العازلة (مدى اختراق الشعلة للمادة) [٢٢]. والشكل رقم (٢-١٤-b) يبين رسماً توضيحياً لهذه الطريقة.

الجدول (٩-٢): درجات حرارة الشعلة المتولدة من عدد من الغازات [١]

Torch	Formula	Temperature, $^{\circ}\text{C}$
Oxyacetylene	$\text{C}_2\text{H}_2-\text{O}_2$	3000-3250
OxyHydrogen	H_2-O_2	2182
Butane-Propane-air	$\text{C}_4\text{H}_{10}-\text{C}_3\text{H}_8-\text{air}$	2000



الشكل (٢-١٤): طريقة حساب قدرة المادة على مقاومة اللهب

a. حساب درجة حرارة السطح [٢١]. b. حساب عمق الضرر [٢٢].

Water absorbtivity : ٢-١٣ امتصاصية الماء

امتصاصية الماء هي النسبة المئوية بين وزن الماء النافذ خلال المسامات الى وزن الجسم الصلب. وتعتبر الامتصاصية دالة الى المسامية الكلية للنظام المسامي حيث تعتمد على خواص المادة الاولية الداخلة في تركيب الجسم (نوع وتركيب المادة) الجسم الحبيبي، انتظامية البنية، عمليات تشكيل الجسم وظروف الحرق) [٣٤].

Apparent Density : ٢-١٤ الكثافة الظاهرية

الكثافة الظاهرية هي من الخواص الفيزيائية المهمة وهي تعرف بانها وحدة حجم من المسحوق او الخليط . الكثافة الظاهرية تنخفض مع نقصان حجم الدقائق وكذلك مع زيادة خشونة سطح الدقائق [٣٥].

الكثافة الظاهرية تعرف ايضاً بانها نسبة الكتلة لوحدة الحجم الصلب الظاهري وهذا الحجم هو حجم المركب الصلب+ المسامات الفئوية. وهي تتأثر بالتركيب الكيميائي لتلك الجزيئات وحجم الجزيئات والتوزيع الحبيبي، طريقة التصنيع وظروف الحرق [٣٦].

الكثافة الظاهرية تزداد بشكل ملحوظ مع زيادة الحرارة حتى تصل الى درجة الحرارة الحرجة عندما تبدأ بالنزول مع ارتفاع درجة الحرارة هذا النقصان بالكثافة يؤدي الى تشوه ونمو بالبنية الداخلية [٣٧].

Bulk Density : ٢-١٥ الكثافة الكتلية

هي الوزن لوحدة الحجم للمادة التي تتضمن الفراغ المسامي الموجود وهي نسبة كتلة المادة الى الحجم الكتلتي والحجم الكتلتي هو حجم المركبات الصلبة مضافاً اليه حجم المسامات المفتوحة وحجم المسامات التي تكون على شكل قنوات [٣٨].

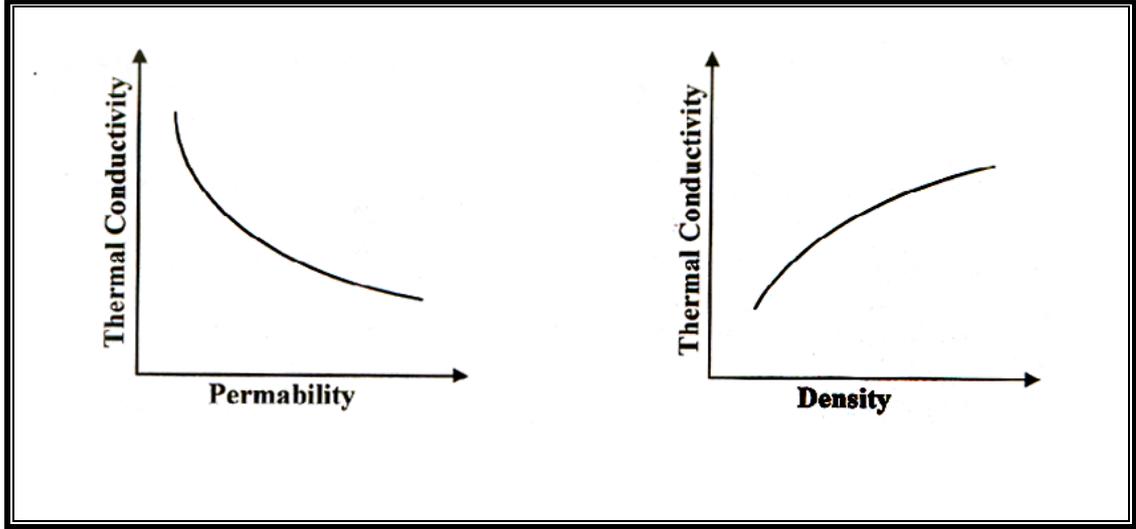
ان زيادة كثافة المادة العازلة يؤدي الى زيادة الموصلية الحرارية لها حيث ان ذلك يؤدي الى تقليل الجيوب الهوائية داخل المادة العازلة.

Permeability : ٢-١٦ النفاذية

ان خاصية النفاذية من الخواص الفيزيائية المهمة التي تؤخذ بنظر الاعتبار في حالة اختبار نوع العازل الحراري لما لها من تأثير كبير على موصلية المادة العازلة للحرارة [٢١].

النفاذية لاي جسم مسامي هي الخاصية التي تسمح بمرور السوائل (الموائع) خلال مساماته. من الطبيعي انه فقط المسامات المفتوحة هي التي لها القابلية على السماح للموائع بالمرور خلال الوسط المسامي تتأثر النفاذية بعدة عوامل عديدة منها حجم المسامات، التوزيع المنتظم للمسامات والمساحة السطحية الداخلية [٣٦].

توجد علاقة بين المسامية والنفاذية ولكن قد يكون هناك وسطين مساميين لهما نفس المسامية لكن ممكن ان تكون لهما نفاذية مختلفة. إن النفاذية العالية للمادة تعني كثرة المسامات او الجيوب الهوائية التي داخلها والتي تعمل على تقليل انتقال الحرارة لأن الهواء موصل رديء للحرارة [٢]. الشكل (١٥-٢) يوضح تأثير النفاذية والكثافة على الموصلية الحرارية للمادة العازلة.



الشكل (٢-١٥): تأثير النفاذية والكثافة على الموصلية الحرارية للمادة العازلة [٢].

٢-١٧: مراجعة الأدبيات Literatures Review

في العام (١٨٣٦) استخدمت كلمة العامل المساعد وتم دراسة تأثير المواد الغريبة على سرعة التفاعلات المختلفة [٤].

في العام (١٨٩٧) تم التوصل الى امرار خليط من الاثيلين والهيدروجين فوق عمود من النيكل المسخن لتحويل الاثيلين الى الايثان باستخدام النيكل كعامل مساعد في عملية الهدرجة (hydrogenations) [٥٠].

في العام (١٩٩٩) قام الباحث (Jeffrey) وآخرون بأضافة مادة السليكات (Silicate) الى البولي بروبيلين والبولي ستايرين خلال البلمرة لتكون ما يسمى (Polymer Layerd Silicate Nano composite) حيث حصلوا على تحسن كبير في الخواص الحرارية لهذين الراتنجين كذلك حصلوا على اختزال كبير في قابلية المادة الناتجة على الاشتعال وتحسين استقراريتها الحرارية [٣٠].

وفي العام (١٩٩٩) قام الباحث (Jeffrey) بأضافة مادة (Clay) الى المادة المترابكة (polymer Layer –Silicate Nanocomposite) حيث حصل على تحسن كبير في تقليل قابلية الاشتعال (Flammability) وتحسن في الخواص الفيزيائية وقام بأجراء مقارنه بين البوليمر Nylon-٦ والمادة المترابكة (Nylon-٦ Clay ٥%) [٥٧].

وفي العام (٢٠٠٠) قام الباحثان Stefan و Heinrich باستخدام مواد Graphite, Vermcular, Sodium Silicate وفوسفات الامونيوم، Microbeads في حماية سطوح المواد اللدائنية من اللهب وأوضحا في بحثهما ان هذه المواد تقوم بأطلاق بخار الماء والامونيا خلال تحللها مما يؤدي الى توليد جو عازل وفي الوقت نفسه يوقف انتشار اللهب على السطح [٣١].

في العام (٢٠٠٠) قدم الباحث (Jack E. Snell) بحثاً حول استخدام المواد السيراميكية ومنها اوكسيد التيتانيوم (TiO₂) واوكسيد الزركونيوم (ZrO₂) واوكسيد الالومنيوم (Al₂O₃) واستخدام المواد الهالوجينية المعيقة للهب في حماية سطوح المواد اللدائنية من النار حيث قام بأجراء مقارنه بين هاتين المادتين من ناحية العزل وايقاف الاشتعال [٣٢].

في عام (٢٠٠٢) قام الباحث (A.Qued) واخرون قاموا بدراسة المقاومة الحرارية للمواد المترابكة (Polyamide-٦ powder) و (Polyamide-٦ Clay) التي تم تغطيتها (Coating) بمادة (Organic silicon) خلال عملية البلمرة و اجراء مقارنه

بينهما حيث تحسنت المقاومة الحرارية للمادة المترابطة (Polyamide-6 Clay) Nanocomposite بشكل كبير مقارنة مع المادة المترابطة الأخرى [٥٨]

في العام (٢٠٠٢) قام الباحث (N. Beyleryan) وآخرون باستخدام أشعة γ وأشعة X والأشعة الليزرية بمدى كبير من المعالجات بالطاقة لتحسين خواص السطح لمواد صلبة متفرقة (Coal, SiO₂, Al₂O₃) والاختيار الكفوء والفعال للعوامل المساعدة والمواد الماصة فقد حصلوا على عوامل مساعدة غير متجانسة (heterogenous catalyst) جديدة بتحسين خواص السطح لـ (Coal) (SiO₂, Al₂O₃) , بتغيير مجموعة عوامل منها طبيعة السطح والتركيز وقد وجدوا بان التصاقية هذه المواد وخواص العامل المساعد المعتمدة على المعالجات بالأشعة غير خطية وكفاءة تحسين خواص السطح تظهر بشكل واضح في نطاق ضيق من المعالجات بالأشعة [٤٦].

في العام (٢٠٠٢) قام الباحث (Nicola Maxim) بإخذ معقدات المواد السليكاتية وقام بإجراء عملية الكلسنة المسيطرة عليها واستخراج مزيج من أكاسيد مختلفة وأجراء فحوصات عليها حيث استخدم مزيج (Cr-Si)O وفحص الخواص المميزة لهذا المزيج وهي حجم الفجوات والمساحة السطحية وانتشار أكسيد الكروم على سطح السليكا بواسطة تقنية الامتصاص الفيزيائي لغاز N₂ وحيود الأشعة السينية (XRD) فوجد انتشار جيد لأكسيد الكروم على سطح السليكا وان هذه المادة هي عامل مساعد فعال في تفاعل أكسدة الامونيوم [٤٧].

وقد قام نفس الباحث في العام نفسه بإخذ مزيج (Mg-Si)O ومزيج أكاسيد (Al-Si)O بخواص محددة حيث استخدم التحليل الحراري والتحليل المجهرى ووجد ان (Mg-Si)O و (Al-Si)O عوامل مساعدة فعالة في تحويل البيوتانول كما بين ان (Mg-Si)O يقوم بعملية ازالة الماء وازالة الهيدروجين معاً وان (Al-Si)O يزيل الماء فقط [٤٧].

في العام ٢٠٠٣ قام الباحث علي ابراهيم مسلم باستخدام مادة اوكسيد الانتيمون الثلاثي (Antimony Trioxide) لتصنيع عازل حراري متقدم ومادة معيقة للهب لها القدرة على تحمل درجات الحرارة العالية التي تصل الى اكثر من (٣٠٠٠°C) كذلك استخدام مادة بورات الزنك (Zinc Borate) لتحسين مقاومة اللهب حيث يتم خلطها مع اوكسيد الانتيمون الثلاثي بنسب مختلفة، وتوصل الباحث الى عدة استنتاجات منها زيادة مقاومة المادة المركبة التي تم طلائها بالاكسيد للحرارة عشرة اضعاف قيمتها، كذلك تحسن مقاومة اوكسيد الانتيمون الثلاثي لانتشار اللهب باضافة مادة بورات الزنك اليه وهذه المقاومة تزداد بزيادة نسبة بورات الزنك المضافة [٥].

في العام (٢٠٠٤) قام الباحث (Takashi) وآخرون بدراسة الخواص الحرارية ومقاومة اللهب للمادة المترابطة (Polyamide 6/Clay Nanocomposite) لمعرفة مدى مقاومتها للهب وذلك باستخدام طريقة التحليل الحراري واستخدام حيود الأشعة السينية (X-ray diffraction) باضافة طبقات من (Clay) فتم اتوصل الى اختزال كبير في قابلية المادة الناتجة للاشتعال ومقاومتها للهب نتيجة تكون فقاعات على سطح العينات تعيق وصول اللهب [٥٩].

وفي العام (٢٠٠٤) قام الباحث (Rick) وآخرون بدراسة كيفية تحسين المقاومة الحرارية (Thermal stability) للمادة المترابطة (Organically Modified Layered Silicate) وذلك بازالة الشوائب الموجودة في البرومايد وقد تم الحصول على زيادة في المقاومة الحرارية بمقدار ٨٠% [٦٠].

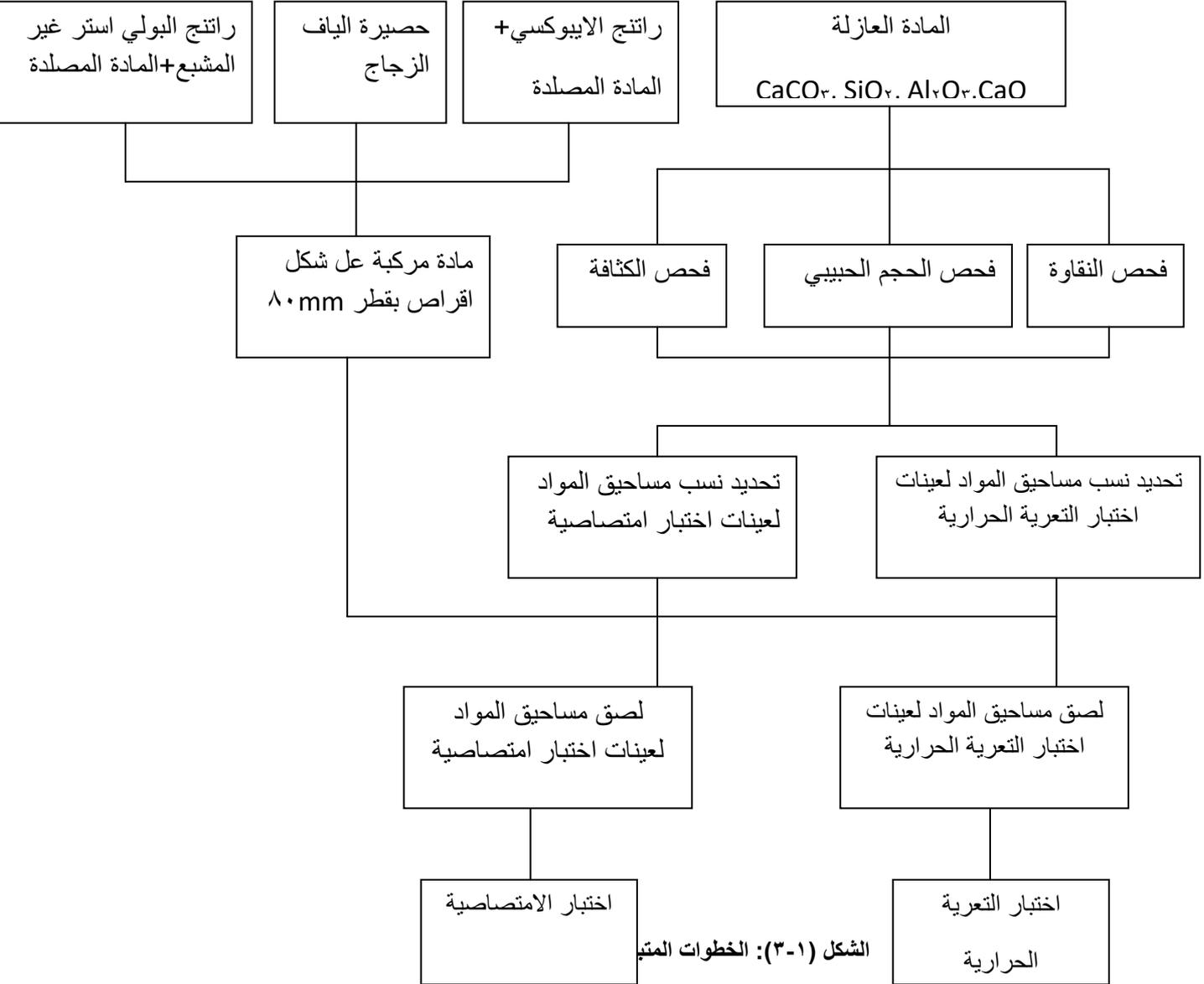
وفي العام (٢٠٠٤) قام الباحث (Z.Vit) وآخرون بدراسة تأثير الخواص القاعدية والحامضية للحامل (Carrier) على فعالية العامل المساعد (Sulfied Rh-MO) حيث استخدم مواد سائدة عشوائية (Mg, Al₂O₃, SiO₂) وقد وجد تأثير نوعي للحامضية في العامل المساعد (Al₂O₃-SiO₂) [٤٨].

في العام (٢٠٠٤) قام الباحث (Szanyi) و (Janos) وآخرون باستخدام تقنية (TPD) (Temp. Programmed Desorption) و (FTIR) Feature Temp. IntensityRatio و (TR-XRD) Timeresolved X-ray diffraction لدراسة طبيعة جزيئات النترت المتكونة على سطح العامل المساعد (BaO/ Al₂O₃) وتوصل الى ان طبقة غشاء BaO المتكونة على سطح الالومينا هي التي تمتص غاز (NO₂) [٤٩].

٣-١ المقدمة Introduction

يستعرض هذا الفصل المادة العازلة المستخدمة في حماية المادة المركبة اضافة الى وصف لتراكيب هذه المواد العازلة واحجامها الحبيبية والتي هي اوكسيد الالمنيوم (Al_2O_3)، اوكسيد السليكون (SiO_2)، اوكسيد الكالسيوم (CaO) ، كذلك يتعرض هذا الفصل الى المواد الاولية المستخدمة في تصنيع المادة المركبة والتي تستخدم للصق واسناد المادة العازلة اضافة الى التطرق الى الاختبارات والفيزيولوجية التي اجريت على المادة العازلة ، وكذلك الاجهزة والادوات المستخدمة.

الشكل (٣-١) يبين الخطوات المتبعة في المنهاج العملي.



٣-٢ المواد الاولية المستخدمة في تحضير المادة العازلة:

المواد الاولية المستخدمة في تحضير المادة العازلة موضحة في الجدول (٣-١):

اسم المادة	Purity %	Particle Size(μ)
Al_2O_3	٩٨.٨	٨.٣٨
CaO	٩٧	١١.١٦
SiO_2	٩٨.٣٤	١٣.١٦
$CaCO_3$	٩٩.٦	٦.٥٣

الجدول (٣-١): المواصفات الفيزيائية للمواد الأولية

الجدول (٣-٢): نتائج التحليل الكيميائي للسليكا

L.O. I	K_2O	Al_2O_3	SiO_2	الأكسيد
١.١٨	٠.١٧	٠.٣١	٩٨.٣٤	%

وتم قياس الكثافة الظاهرية (Apparent Density) لمساحيق المواد العازلة كما يلي:

١. وزن الانبوبة وهي مملوءة بالمسحوق (m_1).

٢. وزن الانبوبة وهي فارغة (m_2).

٣. وضع المسحوق في الانبوبة التي تسمى بانبوبة قياس الكثافة والتي تكون ذات حجم معلوم (Vc) (density CUP) ويتم حساب الكثافة الظاهرية حسب العلاقة التالية:

$$\rho_A = \frac{m_1 - m_2}{Vc} \dots\dots\dots(٣-١) [٣٥]$$

وقد تم أيضاً قياس الكثافة الكتلية (Pycnometer Density) حسب الخطوات التالية:

١. قياس وزن المسحوق (m_1) المائي للانبوبة .

٢. قياس وزن الانبوبة وهي مملوءة بالماء أو الكحول المثلي بالنسبة لـ (m_2).

٣. قياس وزن الانبوبة وهي مملوءة بالماء أو الكحول المثلي بالنسبة لـ (m_3) والمسحوق (CaO).

٤. تم حساب الكثافة الكتلية حسب القانون التالي:

$$\rho_B = \frac{m_1}{m_1 + m_2 - m_3} \dots\dots\dots(3-2) [42]$$

والجدول (3-3) يبين نتائج هذا الاختبار.

الجدول (3-3) : نتائج اختبار الكثافة الظاهرية والكثافة الكتلية

Compound	Al ₂ O ₃	CaO	SiO ₂	CaCO ₃
Apparent density	٠.٨٩٨١	٠.٨٤١	١.٢١٤٦	٠.٦٣٦٣
Bulk density	١.٥٠٣٣	١.٤٧٤٩	١.٤٧٥٤	١.٤٨٦٨

٣-٣: تهيئة المادة الأولية لتحضير المادة المركبة

وتتضمن تهيئة المادة الأساس (المادة اللاصقة) وألياف التقوية (مادة الإسناد). وهذه المواد هي:

١. راتنج البولي أستر غير المشبع Unsaturated Polyester Resin

تم شراء هذا الراتنج (Palatal A_{٤٢٠}) مع المادة المصلدة (MEKPO) من السوق المحلية.

٢. راتنج الايبوكسي Epoxy Resin

راتنج ١٠٣ LEyCO-POX تم شراؤه مع المادة المصلدة بالمواصفات التالية الموضحة في الجدول (٣-٤).

الجدول (٣-٤) : الخواص الفيزيائية لراتنج الايبوكسي

Property	Unity	Value
Mixingratio: Byweight		A:B=٧:٣
Density at ٢٣°C	g/cm ^٣	١.٠٥
Mini.Curing temp.	°C	١٠
Pot life ٢٣°C-٤٠°C	min.	٤٠
Overcoat min/max (٢٣°C)	hours	٠-١٢
Fully cured (٢٣° C)	days	٧
Linear shrinkage	%	٠.٣
Volume shrinkage	%	٣.٥
Compr. Strength	N/mm ^٢	٨٥-١٠٠
Modulus of elasticity	N/mm ^٢	٢٨٠٠
Viscosity DIN ٤mm	sec.	٧٥-٩١

٣. الألياف الزجاجية Glass Fibers

تم شراء هذه الاليف على شكل حبيرة محاكة من نوع E-glass بالموصفات الفيزيائية التالية الموضحة في الجدول (٣-٥).

الجدول رقم (٣-٥) : الخواص الفيزيائية للاليف الزجاجية

Property	Value
Density, g/cc	٢.٥٨
Reactive Index	١.٥٥٨
Softening point, °C	٨٤
Annealing point, °C	٦٥٧
Strain point, °C	٦١٥
Tensile strength, Mpa at ٢٣°C	٣٤٤٥
Elongation %	٤.٨

٣-٤ : الاجهزة والمعدات المستخدمة

الادوات والاجهزة التي تم استخدامها لأجراء التجارب العملية هي:

١. فرن التجفيف الكهربائي (Oven):

PRODIT S.a.٥٩-١٠٠٢٦

Santena (Torino) (Italy)

٢. الميزان الحساس (Startorius):

الماني الصنع وبدقة (±٠.٠٠١)

٣. الخلاط الكهربائي.

٤. محرار الكتروني: (Digital Thermometer)

Type ٢٥٧٥

YOKOGAWA HOKUSHING

Made in Japan

٥. حاوية زجاجية (ديسيكتر) (Desiccater)

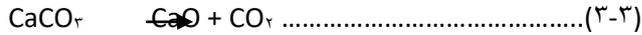
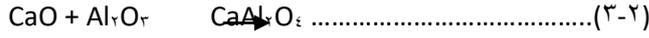
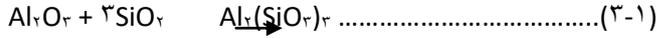
٣-٥ : تهيئة نماذج الاختبارات

Preparation of Tests Specimens

وتتضمن تحضير النماذج الخاصة بأختبار التعرية الحرارية بالإضافة الى النماذج الخاصة بأختبار الامتصاصية.

٣-٥-١: تحديد النسب وخليط المواد

تم خلط المواد المستخدمة في البحث باستخدام الخلاط الكهربائي ولمدة ثلاث ساعات من أجل ضمان التوزيع المتجانس بين المواد قدر الامكان والجدول (٣-٦) يوضح نسب المواد الداخلة في اختبار التعرية الحرارية وفقاً للحسابات النظرية للتفاعل وكما موضح أدناه :



والجدول (٣-٧) يوضح نسب المواد الداخلة في اختبار الامتصاصية.

الجدول (٣-٦): نسب المواد الداخلة في اختبار التعرية الحرارية

(اختبار الشعلة الغازية والشعلة الاوكسي استيلينية).

اسم المادة / رقم النموذج	Al ₂ O ₃ %	CaO%	SiO ₂ %	CaCO ₃ %
النموذج (١)	١٠٠			
النموذج (٢)	٣٥		٦٥	
النموذج (٣)	٥١	٣٦		٤٩
النموذج (٤)	٦٤	٣٦		
النموذج (٥)				١٠٠

الجدول (٣-٧): نسبة المواد الداخلة في اختبار الامتصاصية

اسم المادة / رقم النموذج	Al ₂ O ₃ %	CaO%	SiO ₂ %	CaCO ₃ %
النموذج (١)	١٠٠			
النموذج (٢)		١٠٠		
النموذج (٣)			١٠٠	
النموذج (٤)				١٠٠
النموذج (٥)	٥٠	٥٠		

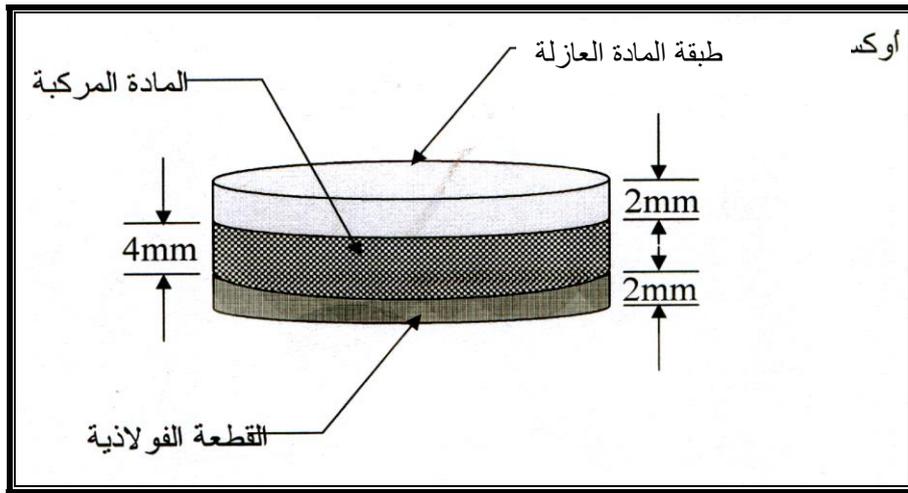
النموذج (٦)	٥٠		٥٠
النموذج (٧)	٥٠		٥٠
النموذج (٨)	٥٠	٥٠	٥٠

٢-٥-٣: الكبس

أولاً: نماذج اختبار التعرية الحرارية

Specimens for Thermal Erosion Test

تتألف نماذج اختبار التعرية الحرارية من ثلاث طبقات ، الطبقة الاولى متكونة من الاوكسيد وهو المادة العازلة وهي تمثل اوكسيد الالمنيوم، أو أكسيد السليكون، أو أكسيد الكالسيوم، و كاربونات الكالسيوم او متكونة من خلط (Mixing) مادتين من هذه المواد بنسب محددة طبقاً للحسابات النظرية لتفاعلاتها موضحة بالجدول (٣-٦). تكون هذه الطبقة بسمك (٢mm)، الطبقة الثانية التي تليها متكونة من المادة المركبة من راتنج البولي استر غير المشبع المقوى بألياف الزجاج العشوائية وتكون بسمك (٤mm)، والطبقة الثالثة هي قطعة فولاذية بسمك (٢mm). والشكل رقم (٣-٢) يمثل رسماً تخطيطياً لعينة اختبار التعرية الحرارية.

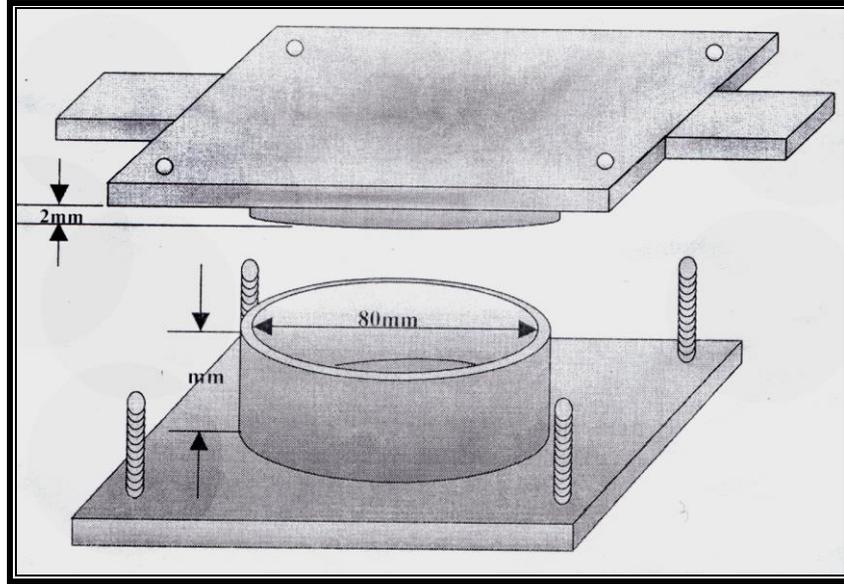


الشكل رقم (٣-٢): رسم تخطيطي لعينة اختبار التعرية الحرارية

تم استخدام طريقة القولية اليدوية (Hand Lay up) في تصنيع نماذج اختبار التعرية الحرارية. يتم تهيئة قطع دائرية الشكل من الياف الزجاج العشوائية وبقطر (٨٠mm) وبنفس ابعاد القالب المعدني المبين في الشكل (٣-٣). يتم طلاء القالب بمادة الشمع ويرش بمادة كحول البولي فنيل (Polyvinyl Alcohol) لتسهيل نزع النماذج من القالب وضمان سلامتها من الكسر. تتم اضافة المادة المعجلة الى راتنج البولي استر غير المشبع وتخلط جيداً معه تسمى هذه المادة (Cobalt Octoate) والتي تحتوي على كوبلست فعال بنسبة (٦%) بعدها تضاف اليه المادة المصلدة (MEKPO) بنسبة (٢%) [٢١].

توضع كمية من الراتنج على سطح القالب الداخلي وتنتشر بفرشاة لضمان توزيعه بانتظام بعدها توضع الطبقة الاولى من الالياف ثم نضع كمية اخرى من الراتنج عليها وهكذا لبقية الطبقات لتتكون المادة المركبة بالسمك المطلوب. تم استخدام الطريقة الوزنية في حساب كمية كل من الالياف والراتنج المستخدمين في تصنيع المادة المركبة، حيث تم استخدام (٤٠%) نسبة وزنية من راتنج البولي استر غير المشبع و (٦٠%) نسبة وزنية من الياف الزجاج العشوائية. بعد ذلك توضع المادة العازلة وهي موضحة في

الجدول (٣-٦) ويتم كيسها في القالب وتترك لتتصلب. بعدها نستخرج المادة المركبة (راتنج + ألياف + المادة العازلة) وتوضع في فرن درجة حرارته (٧٠ °C) لإكمال التصلب [٤١]. الشكل (٣-٣) يوضح القالب الخاص بنماذج اختبار التعرية الحرارية.



الشكل (٣-٣): القالب المستخدم في تصنيع نماذج اختبار التعرية الحرارية

ثانياً: نماذج اختبار الامتصاصية Specimens of Absorptivity Test

العينات المستخدمة في هذا الاختبار تشبه تماماً عينات اختبار التعرية الحرارية الا انها لا يتم اضافة القطعة المعدنية لها وكذلك طريقة تصنيعها والمواد المستخدمة فيها تكون على نوعين:

١. عينات محمولة على (راتنج البولي استر غير المشبع + الالياف الزجاجية).
 ٢. عينات محمولة على (راتنج الايبوكسي + الالياف الزجاجية).
- طبقة المادة العازلة المستخدمة هي موضحة بالجدول (٧-٣) حيث تم استخدام (١٠g) من هذه المواد العازلة او خليط مناصفة من مادتين من العوازل.

بالاضافة نقوم بصنع عينة (blank) بدون طبقة المادة العازلة وذلك لغرض استخراج امتصاصية الماء للطبقة العازلة

فقط.



الشكل (٣-٤): عينة اختبار التعرية الحرارية واختبار الامتصاصية

٣-٦: الأختبارات Testes

تم إجراء نوعين من الأختبارات هي الأختبارات الحرارية (Thermal test) والتي تشمل اختبار التعرية الحرارية والأختبارات الفيزيائية (Physical test) والتي تشمل اختبار الامتصاصية (Water Absorption Test).

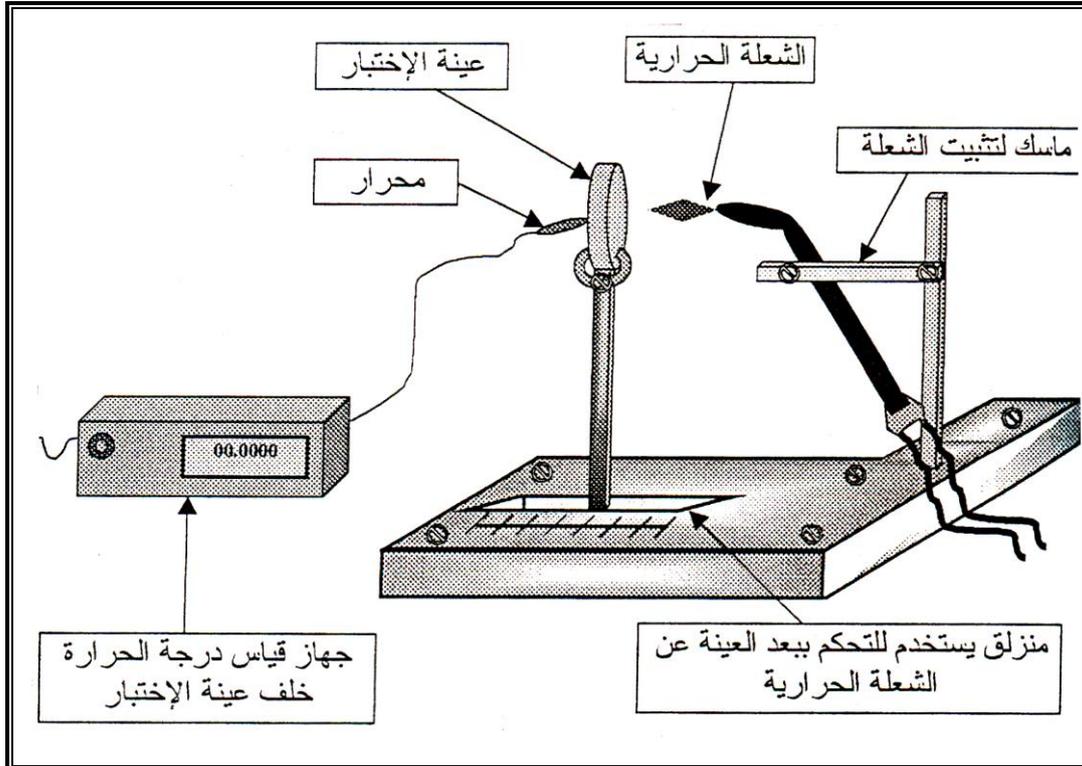
٣-٦-١: اختبار التعرية الحرارية Thermal Erosion Test

تم استخدام نوعين من الشعلة الحرارية وهي الشعلة الغازية ودرجة حرارتها بحدود (٢٠٠٠°C) والشعلة الأوكسي أسيتينية ودرجة حرارتها تقريباً (٣٢٥٠°C-٣٠٠٠°C) حيث تم اختبار العينات بهذين النوعين من الشعلة الحرارية حسب الخطوات التالية:

١. تثبت العينات المراد إجراء اختبار التعرية الحرارية لها على مسافة ثابتة من الشعلة وهي (٢٠mm) وهذا البعد ثابت لجميع العينات.
 ٢. تسلط الشعلة الحرارية (الغازية أو الأوكسي أسيتينية) على العينة المراد إجراء اختبار التعرية الحرارية لها.
 ٣. تقوم بقراءة درجة حرارة السطح الواقع خلف العينة أي على سطح قطعة الفولاذ الخلفية بواسطة محرار الكتروني مبين في الشكل (٣-٥).
 ٤. تقوم بقياس درجة الحرارة مع الزمن ورسم العلاقة بينهما.
- طريقة إجراء اختبار التعرية الحرارية موضحة في الشكل (٣-٦).



الشكل (٣-٥): محرار الكتروني



الشكل (٣-٦): اختبار التعرية الحرارية

Water absorption test اختبار الامتصاصية ٣.٦.٢

أولاً : اختبار الامتصاصية بدون معاملة حرارية

بعد ان تم الحصول على نماذج اختبار الامتصاصية بعد تغطية (Coating) المادة المركبة بمسحوق المادة العازلة حيث تم استخدام (١٠g) من هذه المواد او خليط هذه المواد كما موضحة بالجدول (٣-٧) تم هذا الاختبار بالنسبة للعينات المحمولة على (راتنج البولي استر غير المشبع+الالياف الزجاجية) والعينات المحمولة على (راتنج الايبوكسي+ الالياف الزجاجية)، بالاضافة الى ذلك قمنا بعمل عينة خالية من مسحوق المادة العازلة (blank) واجراء نفس خطوات الاختبار عليها وكما يلي:

١. وزن العينات قبل غمرها بالماء في جهاز الميزان المبين في الشكل (٣-٧) وتسجيل القراءة w_1 .
٢. غمر العينات في الماء المقطر وبدرجة حرارة (25°C) وفترات زمنية مختلفة.
٣. استخراج العينات من الماء المقطر بعد كل فترة زمنية وتقوم بتجفيفها بواسطة قطعة قماش قطنية وتسجيل وزنها (w_2).
٤. حساب الزيادة في الوزن (Δw) ويمثل الماء الممتص من قبل العينة (blank).
٥. حساب الزيادة في الوزن (Δw) بالنسبة للعينات المغطاة بمسحوق المادة العازلة ويمثل الماء الممتص من قبل المادة العازلة والعينة (blank).
٦. استخراج قيمة الزيادة بالوزن ويمثل وزن الماء الممتص من قبل المادة العازلة فقط كما يلي:

$$\Delta w = (\Delta w_2) - \Delta w_1 (\text{blank})$$

للينة
للينة المغطاة للمادة العازلة
بالمسحوق المادة
العازلة

٧. استخدام البيانات لرسم العلاقة بين (Δw) والزمن (t).

٨. حساب مقدار الامتصاصية حسب القانون التالي:

$$\text{Absorbivity}\% = \frac{w_2 - w_1}{w_1} \times 100 \dots \dots \dots (3-4) [42]$$

ثانياً: اختبار الامتصاصية بعد المعاملة الحرارية

اجري هذا الاختبار ايضاً على العينات المحمولة على (راتنج البولي استر+ الالياف الزجاجية) والعينات المحمولة على (راتنج الايبوكسي+الالياف الزجاجية) حسب الخطوات التالية:

١. وزن العينات بواسطة الميزان الحساس قبل ادخالها الفرن.

٢. ادخال العينات المحمولة على (راتنج البولي استر غير المشبع+الالياف الزجاجية) بدرجة حرارة (١٥٠°C) ولمدة (٢٠) ساعة) بالاضافة لعينة (blank) الى الفرن الموضح بالشكل (٣-٨) وادخال العينات المحمولة على (راتنج الايبوكسي+الالياف الزجاجية) بدرجة حرارة (١٢٥°C) ولمدة (٢٠) ساعة) في الفرن.
٣. استخراج العينات من الفرن وتركها لتبرد ثم وزنها وتسجيل (w_1).
٤. غمر العينات في الماء المقطر بدرجة حرارة (٢٥°C) ولفترات زمنية مختلفة.
٥. استخراج العينات من الماء المقطر وتجفيفها بواسطة قطعة قماش قطنية واخذ الوزن لها (w_2).
٦. حساب الزيادة بالوزن (Δw_1) بالنسبة للعينة (blank).
٧. حساب الزيادة في الوزن (Δw_2) بالنسبة للعينات المغطاة بمسحوق المادة العازلة.
٨. استخراج الزيادة بالوزن بالنسبة للمادة العازلة وكما يلي

$$\Delta w = (\Delta w_2) - \Delta w_1 \text{ (blank)}$$

للعينة للعينة المغطاة للمادة العازلة
بالمسحوق



الشكل (٣-٧): جهاز الميزان الحساس



الشكل (٨-٣): فرن التجفيف

٤-١: المقدمة Introduction

ان آلية العزل الحراري تعتمد بالدرجة الاساس على طبيعة المادة الهندسية اما في حالة تعرض المادة الى اللهب فان الآلية تختلف تماماً حيث ان المادة لاتعتمد على درجة انصهارها ولكن تعتمد على التحولات الطورية التي تحصل داخل المادة وكذلك تعتمد على المركبات التي تتكون بعد تعرض المادة الى الحرارة العالية.

٤-٢: اختبار التعرية الحرارية Thermal Erosion Test

يمثل هذا الاختبار مقياساً لمقدار مقاومة المادة لحرارة اللهب المتولد من الشعلة الحرارية وكذلك تحديد صلاحيتها كمادة عازلة في درجات الحرارة العالية المتولدة من اللهب مسافة الاختبار ثابتة لكل العينات وهي (٢٠mm).

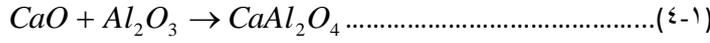
الشكل (١-٤) و (٢-٤) يمثلان اختبار التعرية الحرارية لمادة اوكسيد الالمنيوم باستخدام الشعلة الغازية والشعلة الاوكسي

استيلينية على التوالي نلاحظ اختلاف السلوك في المنحنيين بسبب ارتفاع درجة الحرارة $\frac{dT}{dt}$ في كلا الحالتين فنلاحظ الارتفاع

البطيء لدرجة الحرارة في الشعلة الاوكسي استيلينية والسبب يعود الى وصول درجة الانتقال الطوري لمادة اوكسيد الالمنيوم وهو تحول الصيغ γ, δ, θ (صيغ شبه مستقرة في درجات الحرارة الواطنة). ان جميع هذه الصيغ تتحول الى الطور المستقر الغير راجع في درجة حرارة (٩٠٠°C-١٠٠٠°C) ويرافق هذا التحول امتصاص كمية من الحرارة وتحصل هذه العملية في المادة في حالة الشعلة الاوكسي - استيلينية بشكل اسرع مما عليه في حالة الشعلة الغازية وهذا هو السبب في الارتفاع البطيء لدرجة الحرارة في الشكل (٢-٤) عما عليه في الشكل (١-٤)

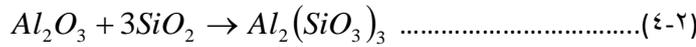
اما الشكل (٣-٤) و (٤-٤) فيمثلان اختبار التعرية الحرارية لنظام اوكسيد الالمنيوم + كربونات الكالسيوم باستخدام الشعلة الغازية والشعلة الاوكسي-استيلينية على التوالي نلاحظ انخفاض درجة الحرارة عند الخمسة ثواني الاولى مقارنة مع نظام اوكسيد الالمنيوم السابق (شكل (١-٤) و (٢-٤)) وهذا يعود الى تعدد العمليات الفيزيائية والكيميائية التي تحدث في هذا النظام فهناك تحول

طوري لاوكسيد الالمنيوم حرارة ٩٠٠°C-١٠٠٠°C وتحول طوري لكاربونات الكالسيوم وتحللها عند درجة ٩٠٠°C لتكون اوكسيد الكالسيوم وثاني اوكسيد الكربون الغاز المطفئ للنار والذي يفصل العينة عن اللهب المباشر [١١]، وكذلك تحول طوري الى اوكسيد الكالسيوم المتكون ، اضافة الى التفاعل الكيميائي بين اوكسيد الكالسيوم واوكسيد الالمنيوم ويحدث هذا التفاعل تقريباً بدرجة حرارة ١٣٠٠°C [٥٤].

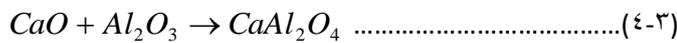


وجميع هذه العمليات هي عمليات ماصة للحرارة (endothermic) والمصدر الوحيد لهذه الطاقة هي طاقة الشعلة وبالتالي فان معدل ارتفاع درجة الحرارة على سطح قطعة الفولاذ الخلفي تكون منخفضة لغاية ٢٥ ثانية و٩ ثواني على التوالي حيث عندها تبدأ الزيادة في معدل ارتفاع درجة الحرارة ويبدو ان كل التغيرات الطورية والكيميائية تأخذ دورها خلال هذا الزمن وان وصول درجة الحرارة اللازمة لحدوثها تكون اسرع في حالة الشعلة الاوكسي-استيلينية عما عليه في حالة الشعلة الغازية لشدة الاولى على الثانية، نلاحظ ان درجة الحرارة على سطح قطعة الفولاذ تكون منخفضة جداً مقارنة بما عليه في حالة نظام اوكسيد الالمنيوم لوحده ويعود السبب الى ان شدة التفاعلات الماصة للحرارة في نظام اوكسيد الالمنيوم+ كاربونات الكالسيوم وهما تفكك الكاربونات وتفاعل اوكسيد الكالسيوم واوكسيد الالمنيوم وعادة تكون التفاعلات الماصة للحرارة اكثر امتصاصاً لها من تلك الخاصة بالتغيرات الطورية.

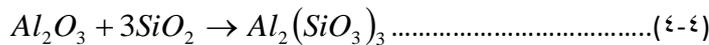
الشكل (٤-٥) و(٤-٦) يمثلان اختبار التعرية الحرارية لنظام اوكسيد الالمنيوم + اوكسيد السليكون. نلاحظ درجات الحرارة الاولى المسجلة على سطح قطعة الفولاذ اعلى نسبياً مما عليه في نظام اوكسيد الالمنيوم + كاربونات الكالسيوم يعزى ذلك الى التفاعل المبكر الماص للحرارة من تحلل كاربونات الكالسيوم الى اوكسيد الكالسيوم وغاز ثاني اوكسيد الكربون العازل للهب. ان العمليات الماصة للحرارة في هذا النظام هي التحول الطوري لاوكسيد الالمنيوم واوكسيد السليكون الذي يحدث بحدود درجة حرارة (١٠٠٠°C) [٥٢] وتفاعلهما لانتاج سليكات الالمنيوم (Aluminum silicate) الذي يحدث بدرجة حرارة (١٥٨٧°C) [٥١].



الشكل (٤-٧) و(٤-٨) يمثلان اختبار التعرية الحرارية لنظام اوكسيد الالمنيوم+اوكسيد الكالسيوم. ان هذا النظام يشبه السلوك الحراري الاولي لنظام اوكسيد الالمنيوم + اوكسيد السليكون حيث كلاهما لا يتضمن حدوث تفاعل مبكر كما في حالة وجود كاربونات الكالسيوم. ان العمليات الماصة للحرارة هي التحول الطوري لكل من اوكسيد الالمنيوم واوكسيد الكالسيوم ومن ثم حدوث التفاعل بينهما :



في الشكل (٤-٨) نظام اوكسيد الالمنيوم + اوكسيد الكالسيوم يظهر ثبوت درجة الحرارة مع الزمن لغاية ١٢ ثانية مما يدل على ان معدل التفاعل اعلاه اوطاً مما عليه في حالة التفاعل في الشكل (٤-٦)



ولكن اقرب الى السلوك الحراري في حالة نظام اوكسيد الالمنيوم + كاربونات الكالسيوم وكذلك الى نظام كربونات الكالسيوم، ومعدلات التفاعل والتحويلات الطورية التي تنعكس على السلوك الحراري لهذه الاكاسيد تختلف بعض الشيء في حالة استخدام الشعلة الغازية عما عليه في حالة استخدام الشعلة الاوكسي-استيلينية لكون الشعلتين ذات طاقات حرارية مختلفة.

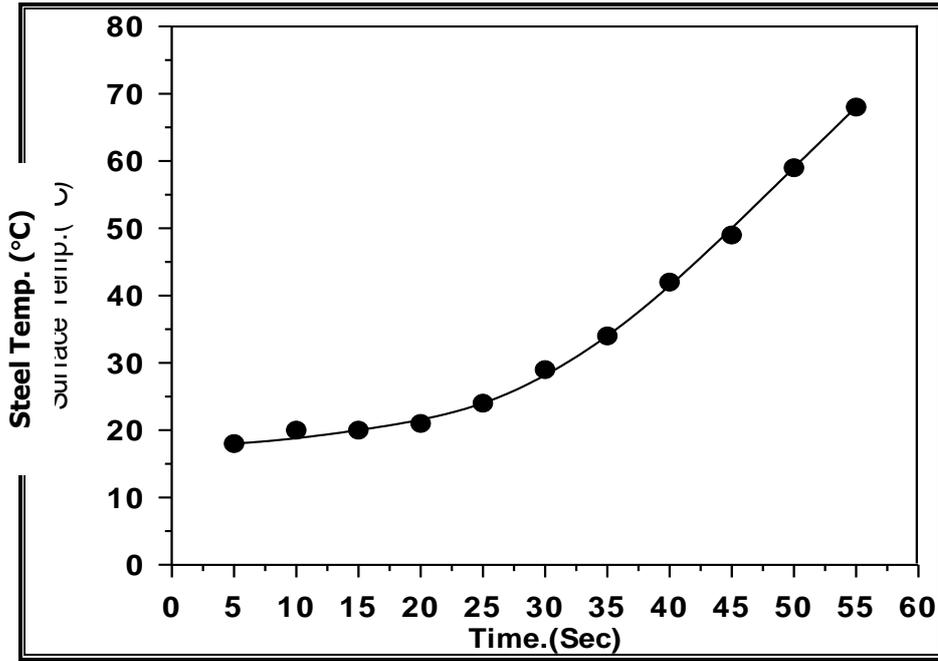
الشكل (٩-٤) و(١٠-٤) يمثلان اختبار التعرية الحرارية لنظام كاربونات الكالسيوم البسيط (أي مادة واحدة) في هذا النظام ان عملية تفكك كاربونات الكالسيوم والتحول الطوري للكربونات والاكسيد المتكون هي من العمليات الماصة للحرارة حيث تتفكك الكاربونات عند درجة حرارة ٩٠٠°C ويتحرر غاز ثاني اوكسيد الكربون الغاز المعيق للهب [١١].



حيث نلاحظ المنحني في الشكل (٩-٤) ثبوت درجة الحرارة على السطح الخلفي لقطعة الفولاذ حتى الزمن (٢٠) ثانية تقريباً عند درجة حرارة ٢٠°C بعدها تبدأ بالارتفاع بينما نلاحظ المنحني في الشكل (١٠-٤) ان درجة الحرارة ثابتة حتى الزمن (١٠) ثواني تقريباً عند درجة حرارة ٤°C وبعدها تبدأ بالزيادة الحادة مما يعكس اختلاف شدة مصدري الطاقة الموجهة للنموذجين، ففي حالة الشعلة الاوكسي استيلينية نرى بان التفاعل ينتهي بعد عشرة ثواني بحيث ان التفاعل يمتص الطاقة من اللهب ومن المادة المحمول عليها (المادة المترابكة) بحيث تنخفض درجة الحرارة على سطح قطعة الفولاذ الى درجة ٤°C لحين انتهاء تفكك والتحول الطوري للكربونات والاكسيد المتكون بعدها تذهب الطاقة الحرارية من اللهب الى رفع درجة حرارة الاوكسيد لحين فشل العينة بسقوط الاوكسيد وتلف المادة المركبة.

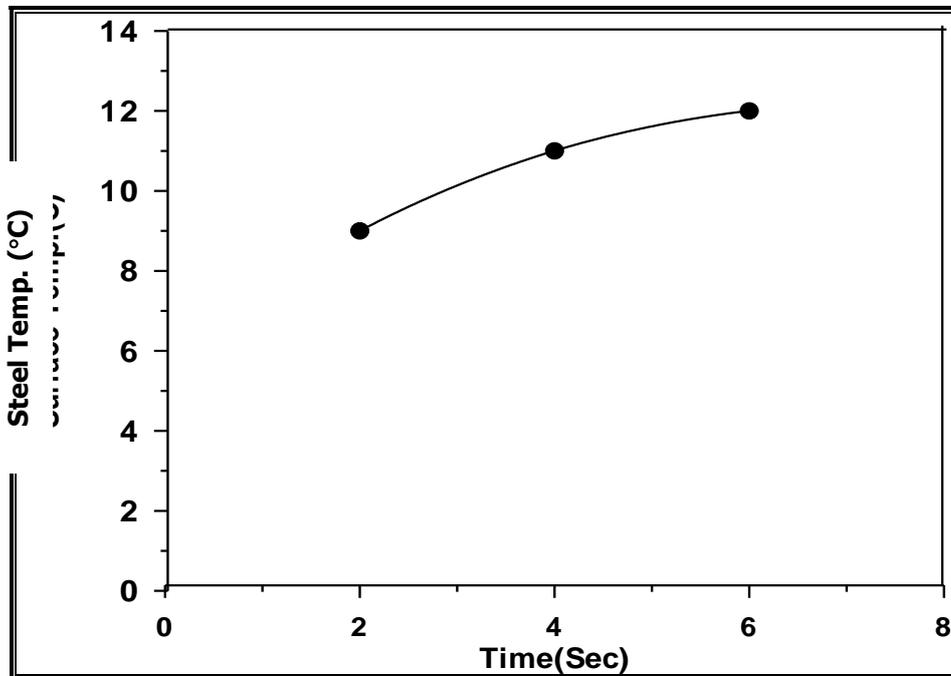
الشكل (٤-١١-a) يوضح شكل العينات المختبرة بالشعلة الغازية .

الشكل (٤-١١-b) يوضح شكل العينات المختبرة بالشعلة الاوكسي أستيلينية .



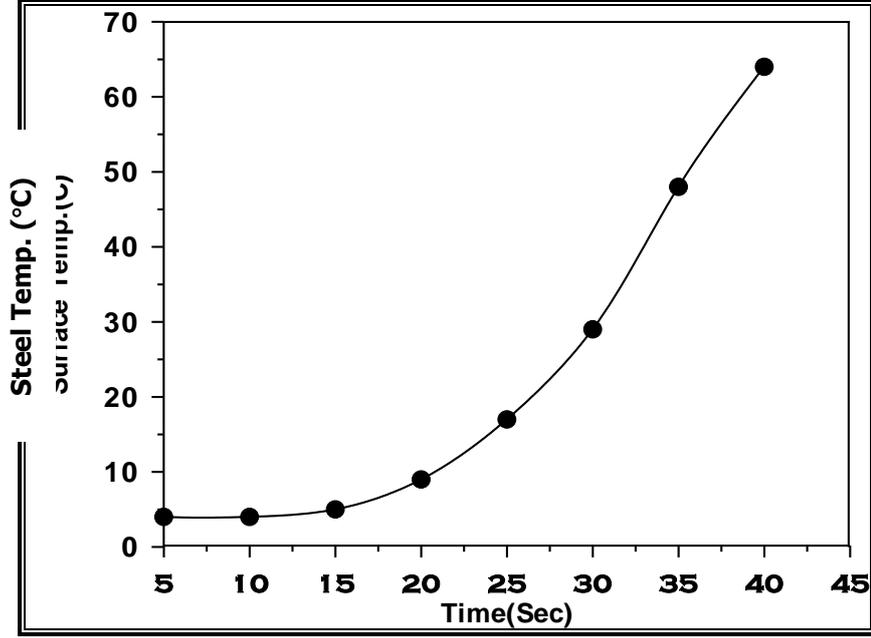
الشكل (٤-١): اختبار التعرية الحرارية بالشعلة الغازية Al_2O_3 .

مسافة الشعلة (٢٠ mm)



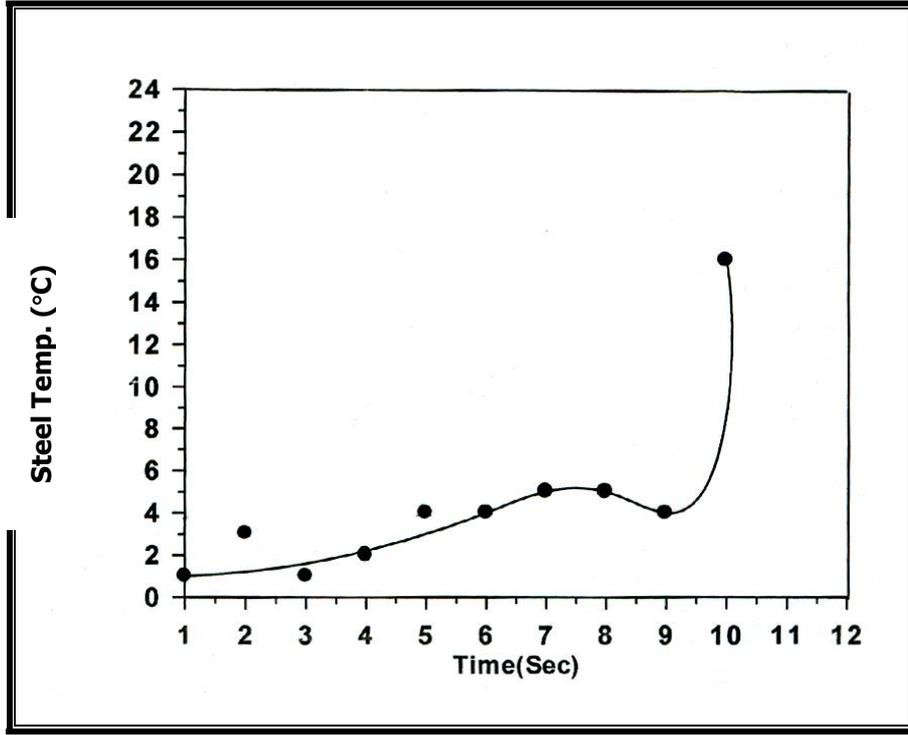
الشكل (٤-٢): اختبار التعرية الحرارية بالشعلة الاوكسي استيلينية Al_2O_3 .

مسافة الاختبار (٢٠ mm)



الشكل (٤-٣): اختبار التعرية الحرارية بالشعلة الغازية لـ $\text{CaCO}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$

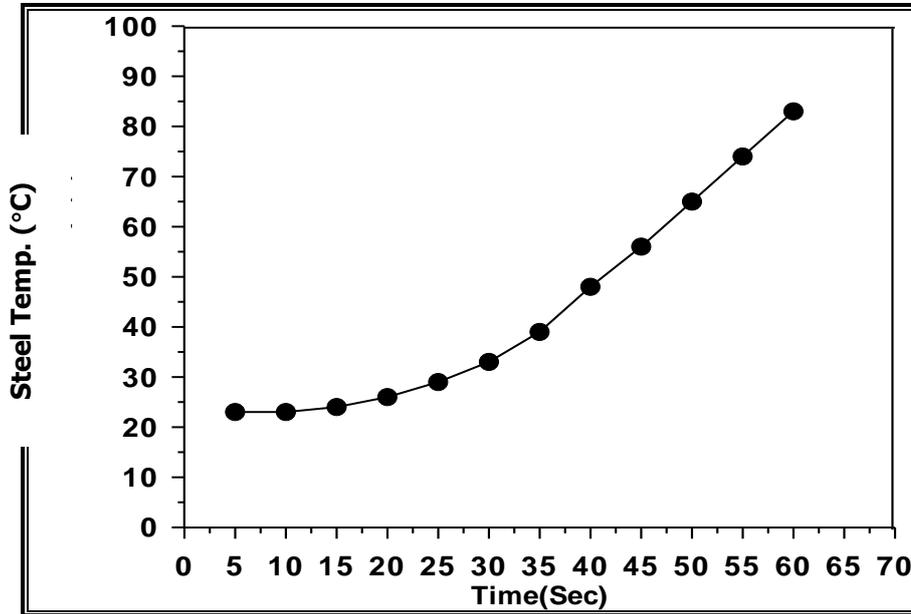
مسافة الشعلة (٢٠ mm).



الشكل (٤-٤): اختبار التعرية الحرارية بالشمعة الاوكسجينية اسطوانية

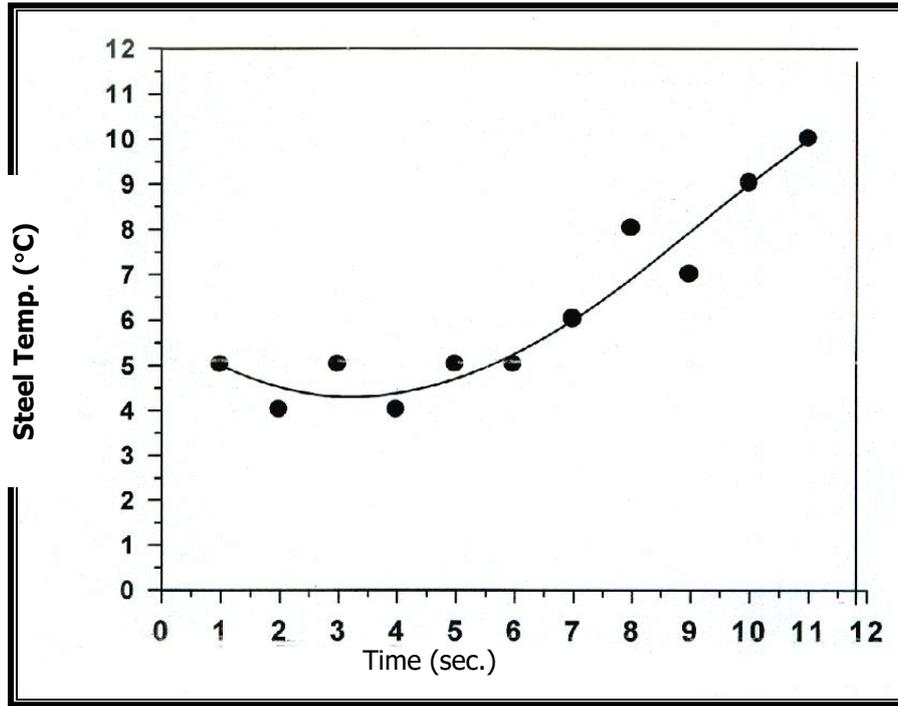


مسافة الاختبار (٢٠ mm).



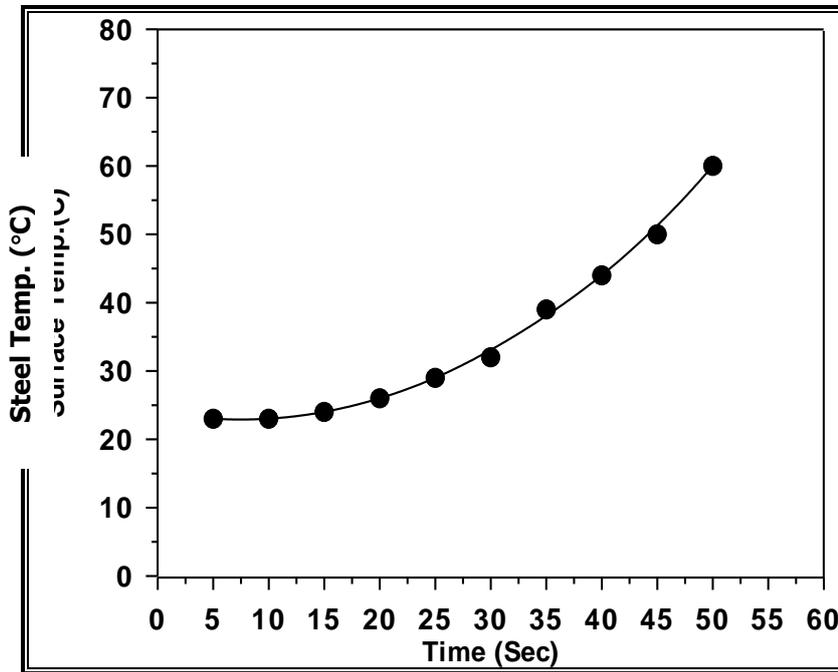
الشكل (٤-٥): اختبار التعرية الحرارية بالشمعة الغازية $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$

مسافة الشعلة (٢٠ mm).



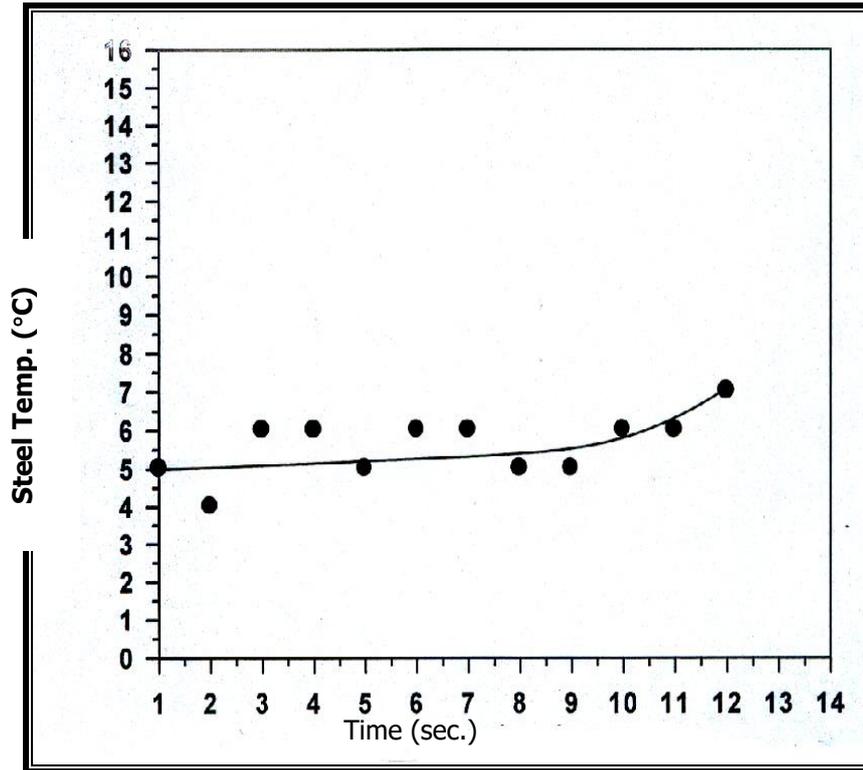
الشكل (٤-٦): اختبار التعرية الحرارية بالشعلة الاوكسي استيلينية لـ $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$.

مسافة الشعلة (٢٠ mm)



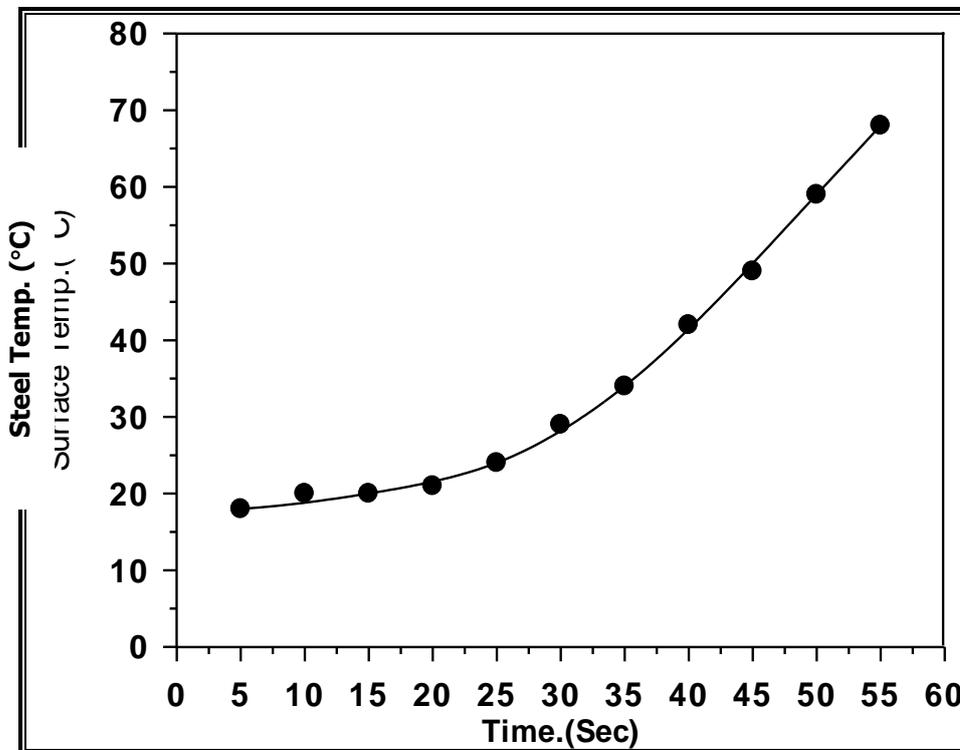
الشكل (٤-٧): اختبار التعرية الحرارية بالشعلة الغازية لـ $\text{CaO} + \text{Al}_2\text{O}_3$.

مسافة الشعلة (٢٠ mm).



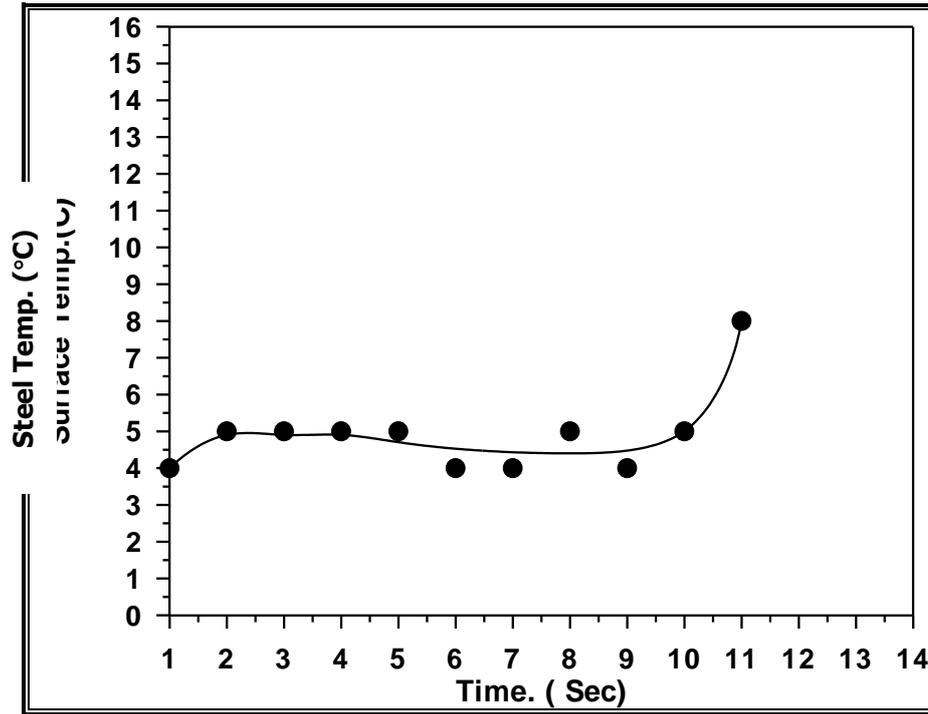
الشكل (٤-٨): اختبار التعرية الحرارية بالشعلة الاوكسي استيلينية لـ $\text{CaO}+\text{Al}_2\text{O}_3$.

مسافة الشعلة (٢٠ mm)



الشكل (٤-٩): اختبار التعرية الحرارية بالشعلة الغازية لـ CaCO_3 .

مسافة الشعلة (٢٠ mm)



الشكل (١٠-٤): اختبار التعرية الحرارية بالشعلة الاوكسي استيلينية لـ CaCO_3 .

مسافة الشعلة (٢٠ mm).



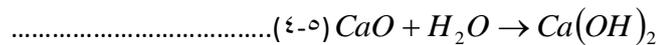
الشكل (a-11-4): العينات المختبرة بالشعلة الغازية



الشكل (b-11-4): العينات المختبرة بالشعلة الاوكسي - استيلينية

٤-٣: اختبار الامتصاصية

ان المواد التي تناولها البحث هي اوكسيد الالمنيوم، اوكسيد الكالسيوم، اوكسيد السليكون وكاربونات الكالسيوم وخالط منها. ان هذه المواد غير ذائبة في الماء عدا اوكسيد الكالسيوم فانه يتفاعل مع الماء مكونا ما يسمى بهيدروكسيد الكالسيوم (الجير المطفي) إلا ان النماذج درست على شكل اقراص ملتصقة على المواد المركبة بحيث لاتجد الشروط المطلوبة للذابة كالرج والتسخين لذا نرى اوكسيد الكالسيوم لم يذوب بل كانت العملية امتصاص ماء على حبيبات الاوكسيد من خلال التنافذ لذا تركت لفترات طويلة وكافية لعمية التنافذ. ان الحسابات الكيماوية تظهر بان (١٠) غم من اوكسيد الكالسيوم التي استعملت في التجارب تحتاج الى ٣.٢ غم من الماء وكما في المعادلة:



ففي الاشكال (٤-١٢)، (٤-١٣)، (٤-١٤)، (٤-١٥)، (٤-١٦)، (٤-١٧)، (٤-١٨) و(٤-١٩) التي تمثل اختبار الامتصاصية للعينات المحمولة على راتنج الايبوكسي وعلى راتنج البولي استر الغير مشبع كأساس المسخنة وغير المسخنة على التوالي من خلال الجدول (٤-١) نرى النتائج مختلفة عن ذلك فهي في حالة الايبوكسي كأساس نراها اقل من الحسابات الكيماوية للتفاعل اما في حالة البولي استر غير المشبع كأساس فنراها اعلى من ذلك وعليه فان الامتصاصية هي عملية تنافذ وامتصاص الماء

على الحبيبات وما بين المسامات والفجوات وبالتالي فهي تعتمد على فيزياء الاوكسيد من نعومة وشكل الحبيبات وكثافتها والاساس المتلصقة به وتماسك حبيباتها وتلاصقها مع الاساس [٤٤] والمسافات البينية بين حبيباتها والفجوات المتكونة بينها وبين الاساس لذا نرى تغير كبير بالامتصاصية عند تسخين العينات لفترات طويلة تحت درجات حرارية عالية حيث ان هذه المعالجة الحرارية لها تأثير كبير على كل العوامل المذكورة اعلاه معطية امتصاصية عالية جداً مقارنة بالنتائج الخاصة بالنماذج الغير مسخنة.

نلاحظ عند عمل خليط من نوعين من الاكاسيد بنسب وزنية متساوية ٥٠% فان امتصاصية المزيج ليست الاضافة الجبرية لنصف امتصاصية كل من المادتين المكونة للمزيج وهذا يعني اختفاء الخصوصية الفيزيائية لكلتا المادتين وتكوين مزيج له خصوصية جديدة من ناحية الهيكله وبالتالي ظهور امتصاصية جديدة للمزيج (جدول ٢-٤). في الشكل (١٥-٤) عند مقارنة العينات المسخنة وغير المسخنة فرق كبير في الامتصاصية نتيجة نمو الفجوات والمسافات بين الحبيبات ولنفس السبب نلاحظ الفرق الكبير في الامتصاصية بين العينات المحمولة على راتنج الايوكسي. اما الشكل (١٦-٤) الذي يمثل الامتصاصية للعينات (Al_2O_3/SiO_2) المحمولة على راتنج البولي استر والايوكسي نلاحظ الفرق الكبير في الامتصاصية نتيجة التسخين وتنشيط هذه المواد فيزيائياً وبالتالي تغيير ترتيبها كمواد ماصة للماء.

في الشكل (٢٠-٤) الذي يمثل اختبار الامتصاصية للعينات المحمولة على راتنج الايوكسي كأساس الغير مسخنة فنلاحظ زيادة الوزن مقابل الزمن حتى يستقر عند اعلى زيادة في الوزن نتيجة تشبع العينة بالماء وكما مبين في الجدول (٢-٤) العمود الاول والذي يمثل (١٠) غم من كل اوكسيد (اربعة مواد) واربعة مزيجات بنسبة ٥٠% من كلتا المادتين محمولة على مادة مركبة فنلاحظ من الجدول (عمود ٢) ان اعلى امتصاصية ٩.٦% هي من قبل اوكسيد الكالسيوم وهو اوكسيد قاعدي يتفاعل مع الماء عندما يكون الاوكسيد باودر حر ويمتص الماء عندما يكون الاوكسيد مكبوساً وهذه النتيجة تنعكس على خليط CaO/Al_2O_3 وخليط CaO/SiO_2 ذات الامتصاصية المئوية ١١.٢% و ١٠.٤% على التوالي ولو كانت قيمة الامتصاصية تنتج من الاضافة الجبرية لقيم الامتصاص لمكونات المزيج لكانت النتائج ٧.٩% و ٦% على التوالي ان ذلك يعود الى زيادة النفاذية والفجوات في المزيج عما عليه في حالة المواد منفردة أي ان هناك هيكله جديدة في المزيج تختلف عن هيكله المواد منفردة (أي النظام البسيط). ان امتصاصية الانظمة اعلاه تتفق مع قيم الامتصاصية للمواد منفردة حيث ترى ان المزيج الحاوي على الالومينا ذات امتصاصية اعلى من ذلك الحاوي على السليكا علماً بان امتصاصية الالومينا اعلى من امتصاصية السليكا.

اما الشكل (٢١-٤) الذي يمثل اختبار الامتصاصية للعينات المحمولة على راتنج الايوكسي كأساس المسخنة فنلاحظ انه عند تسخين النماذج لفترة طويلة ٢٠ ساعة عند درجة حرارة ١٢٥°C فان الامتصاصية بشكل عام ارتفعت (جدول ٢-٤) العمود الثالث) نتيجة نمو الفجوات والمسامية في المسحوق [٥٦، ٥٥] وكذلك التماسك بين جزيئات المسحوق المتلامسة والتلاصق بين المسحوق والمادة الاساس (تتأخذ) سيما وان التسخين لمثل هذه الدرجة يؤدي الى ليونة المادة الاساس وكذلك خروج الغازات الموجودة في الاوكسيد ان الزيادة الكبيرة التي حصلت في قيم الامتصاصية كانت في انظمة كاربونات الكالسيوم ١٧.٧%، Al_2O_3/SiO_2 ، ١٤.٤%، $CaCO_3/Al_2O_3$ و SiO_2 ١١.٣%.

الشكل (٢٢-٤) يمثل اختبار الامتصاصية للعينات المحمولة على راتنج البولي استر غير المشبع للعينات غير المسخنة كأساس نلاحظ من خلال قيم الامتصاصية المبينة في الجدول (٢-٤) العمود الرابع) لنفس الانظمة اعلاه النتائج بصورة عامة اعلى بكثير مما هو عليه في حالة الايوكسي وهذا يعزى الى اهم عامل وقد يكون هو الوحيد المؤثر قوة الالتصاق بين الاوكسيد وطبقه الاساس [٤٤] وما يترتب على ذلك من فجوات ومسافات بينية بين الطورين بحيث يسمح بامتصاص الماء في هذه المنطقة اكثر مما هو عليه في حالة الايوكسي

اما الشكل (٢٣-٤) فيمثل اختبار الامتصاصية للعينات المحمولة على راتنج البولي استر غير الشبع كأساس المسخنة فنلاحظ ان هذه الظروف كافية لتنشيط هذه المواد فيزيائياً من ناحية طرد الغازات عند تسخين النماذج لفترة ٢٠ ساعة بدرجة الممتصة والمحجوزة في هيكل هذه المواد المكبوسة كذلك ونمو الفجوات المسامية في الاوكسيد بينه وبين المادة الاساس [٥٥، ٥٦] وازالة الشد في كليهما باتجاه نظام اكثر انتظاماً واستقراراً كل ذلك يجعل هذه الانظمة اكثر نشاطاً لنفاذية الماء وامتصاصه حيث تم الحصول على امتصاصية اضعاف مما عليه في حالة الايوكسي كأساس، كما ان ترتيب قيم الامتصاصية اختلفت عن قريباتها في

في حالة عدم التسخين. ان ذلك يعكس خصوصية كل مادة خلال عملية التنشيط واختلاف سلوك كل منها فيزيائياً تحت شروط التنشيط اعلاه فاختلقت قيمها عما عليه في حالة عدم تنشيطها وبالتالي تغيير ترتيبها كمواد ماصة للماء.

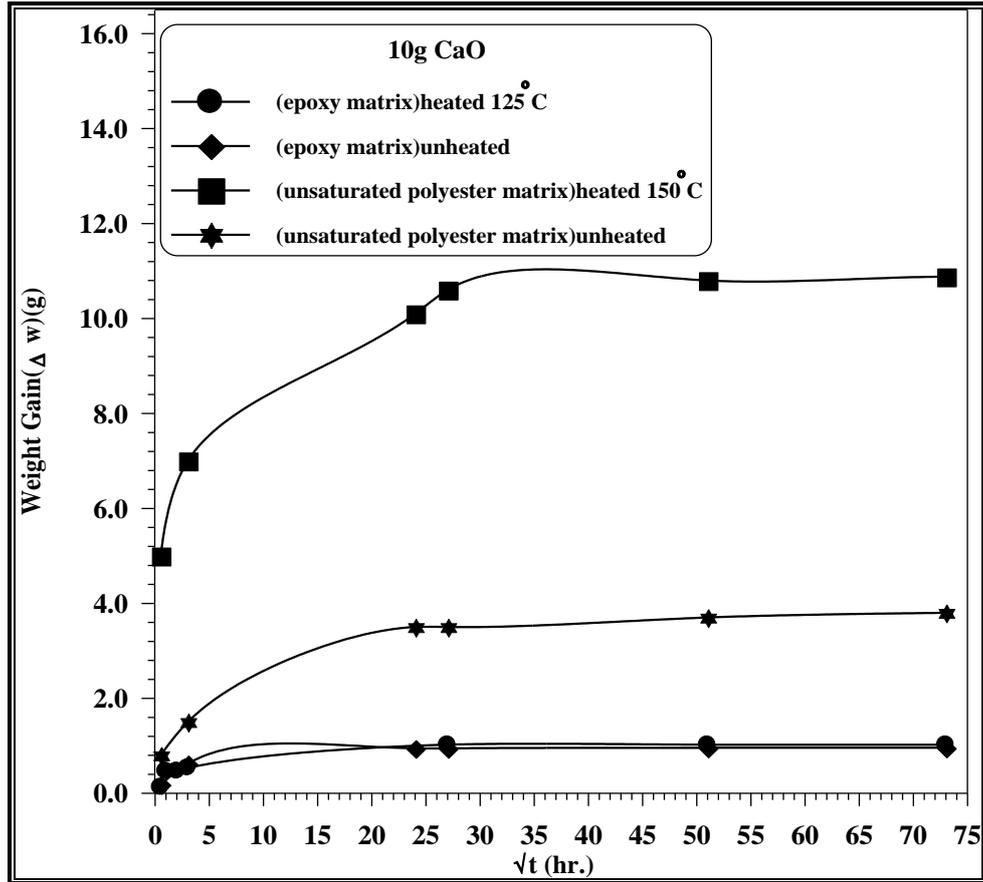
الجدول (٤-١): يمثل اعلى زيادة في الوزن (Δw) لامتصاص الماء

Material (١٠g)	Δw_{\max} (g) water absorbed by the material on Epoxy matrix		Δw_{\max} (g) water absorbed by the material on unsat polyester matrix	
	Un heated	Heated ١٢٥°C	Unheated	Heated ١٥٠°C
Al ₂ O ₃	٠.٦٣	٠.٩	١.٧	٣.٩
CaO	٠.٩٦	١.٠٤	٣.٦	١٠.٨
SiO ₂	٠.٢٥	١.١٣	١.٥	٢.٣
CaCO ₃	٠.٢	١.٧٧	١.٧	٢.٤
Al ₂ O ₃ / CaO	١.١٢	١.٢	١.٢	٤.٦
Al ₂ O ₃ / SiO ₂	٠.١	١.٤٤	١.١	١.٧
Al ₂ O ₃ /CaCO ₃	٠.١٢	١.٤	٢.٢	٢.٨
CaO/ SiO ₂	١.٠٤	١.٠٨	٦	٩.٣

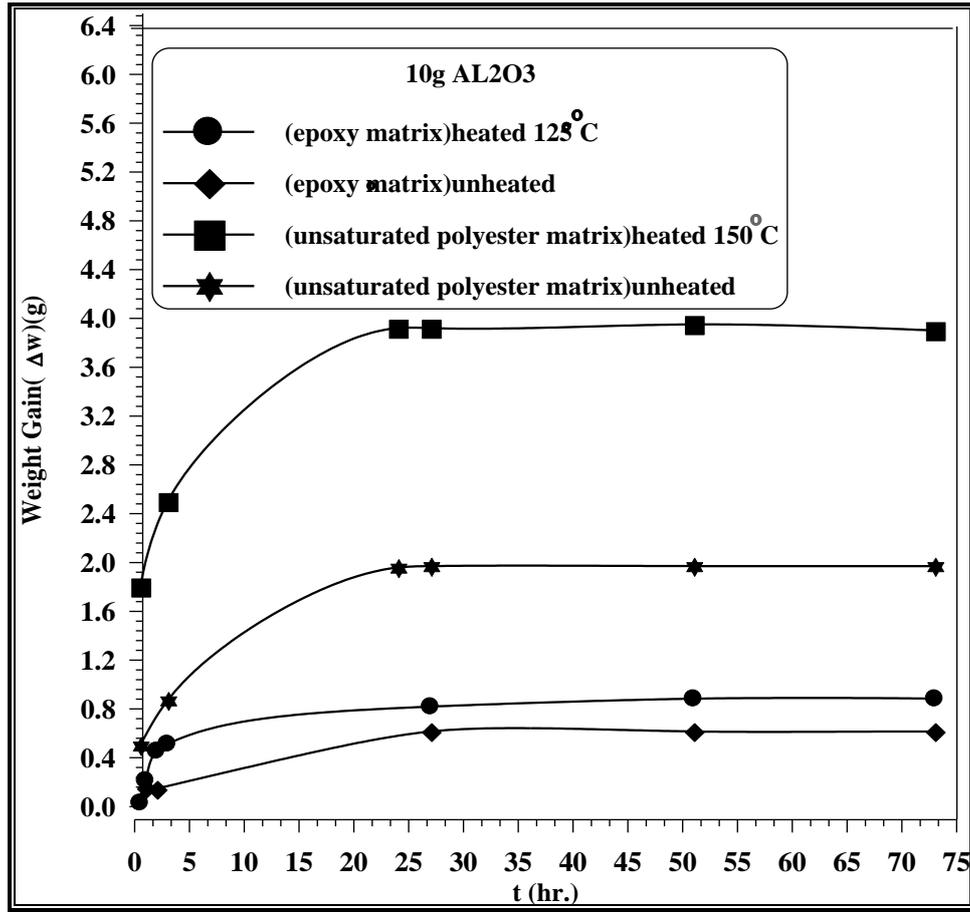
الجدول (٤-٢): قيم الامتصاصية

Material (°g/°g)	% Absorbitivity by the material on Epoxy matrix	% Absorbitivity by the material on unsat. Polyester matrix
------------------	---	--

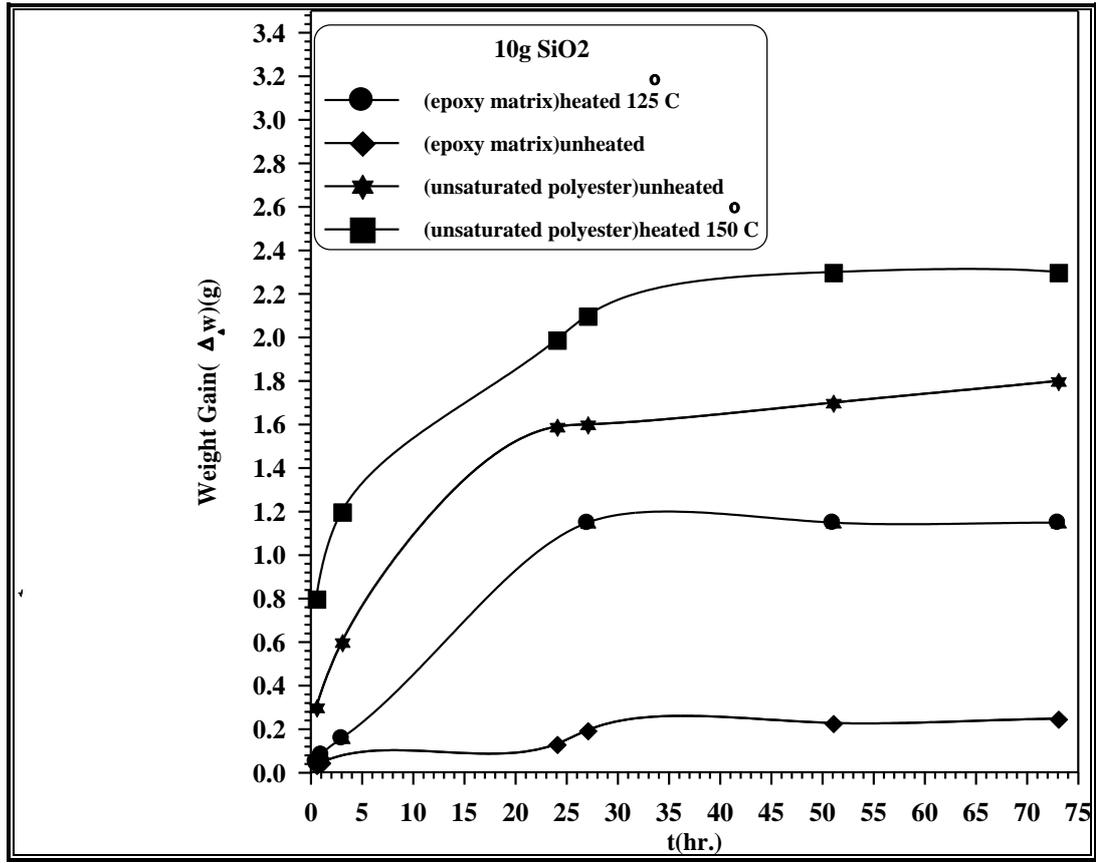
	Un heated	Heated 120°C	Unheated	Heated 100°C
Al ₂ O ₃	7.3	9	17	39
CaO	9.6	10.4	36	10.8
SiO ₂	2.0	11.3	10	23
CaCO ₃	2	17.7	17	24
Al ₂ O ₃ / CaO	11.2	12	12	46
Al ₂ O ₃ / SiO ₂	1	14.4	11	17
Al ₂ O ₃ /CaCO ₃	1.2	14	22	28
CaO/ SiO ₂	10.4	10.8	70	93



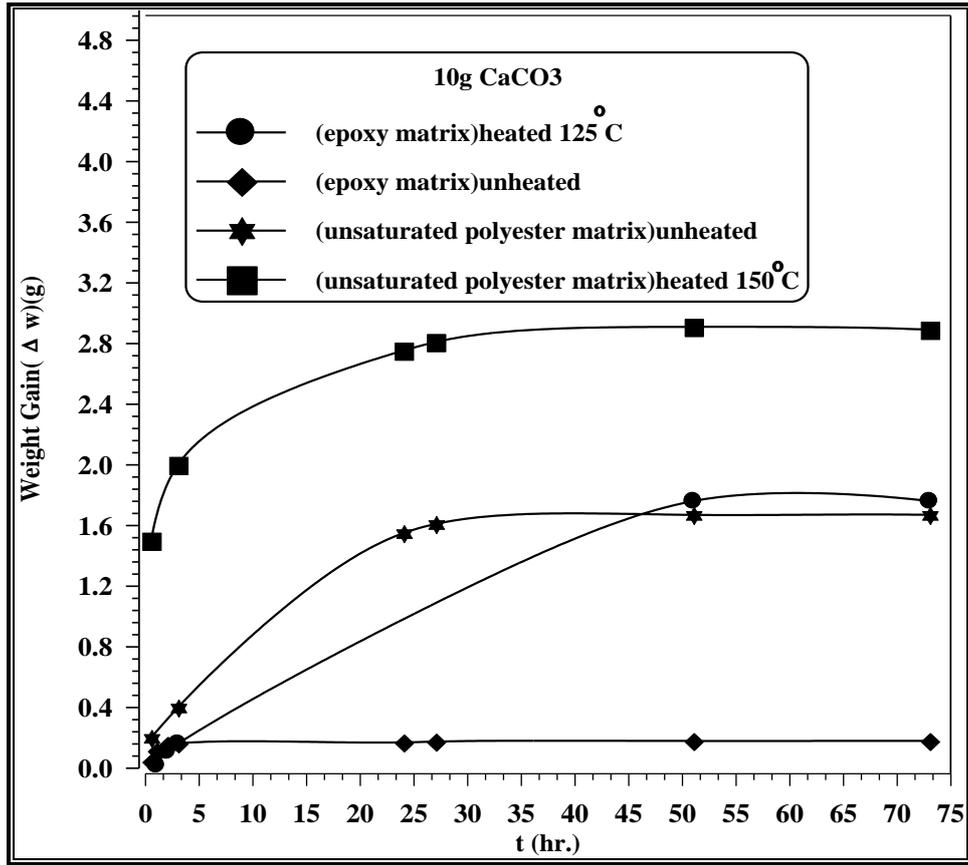
الشكل (٤-١٢) اختبار الامتصاصية لـ اوكسيد الكالسيوم المحمول على راتنج البولي استر غير المشبع+الالياف الزجاجية وراتنج الايوكسي+الالياف الزجاجية للعينات المسخنة وغير المسخنة.



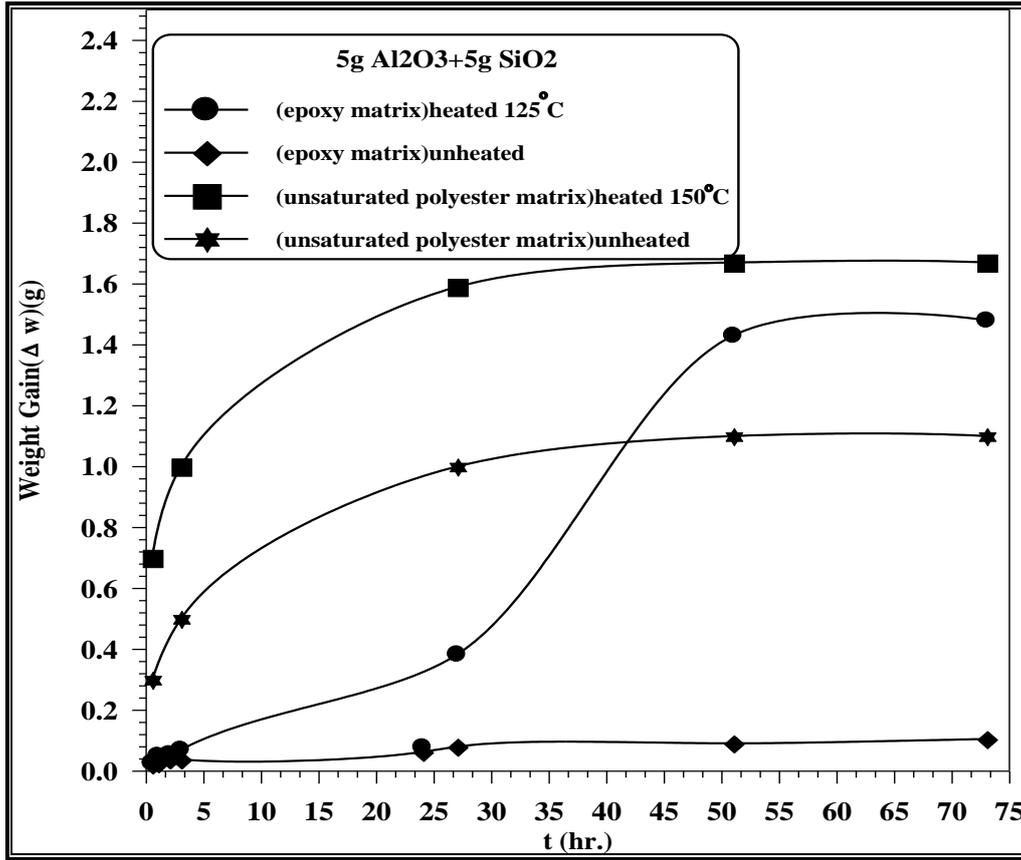
الشكل (٤-١٣): اختبار الامتصاصية لـ اوكسيد الالمنيوم المحمول على (راتنج البولي استر غير المشبع + الالياف الزجاجية) والمحمول على (راتنج الايبوكسي + الالياف الزجاجية) للعينات المسخنة وغير المسخنة.



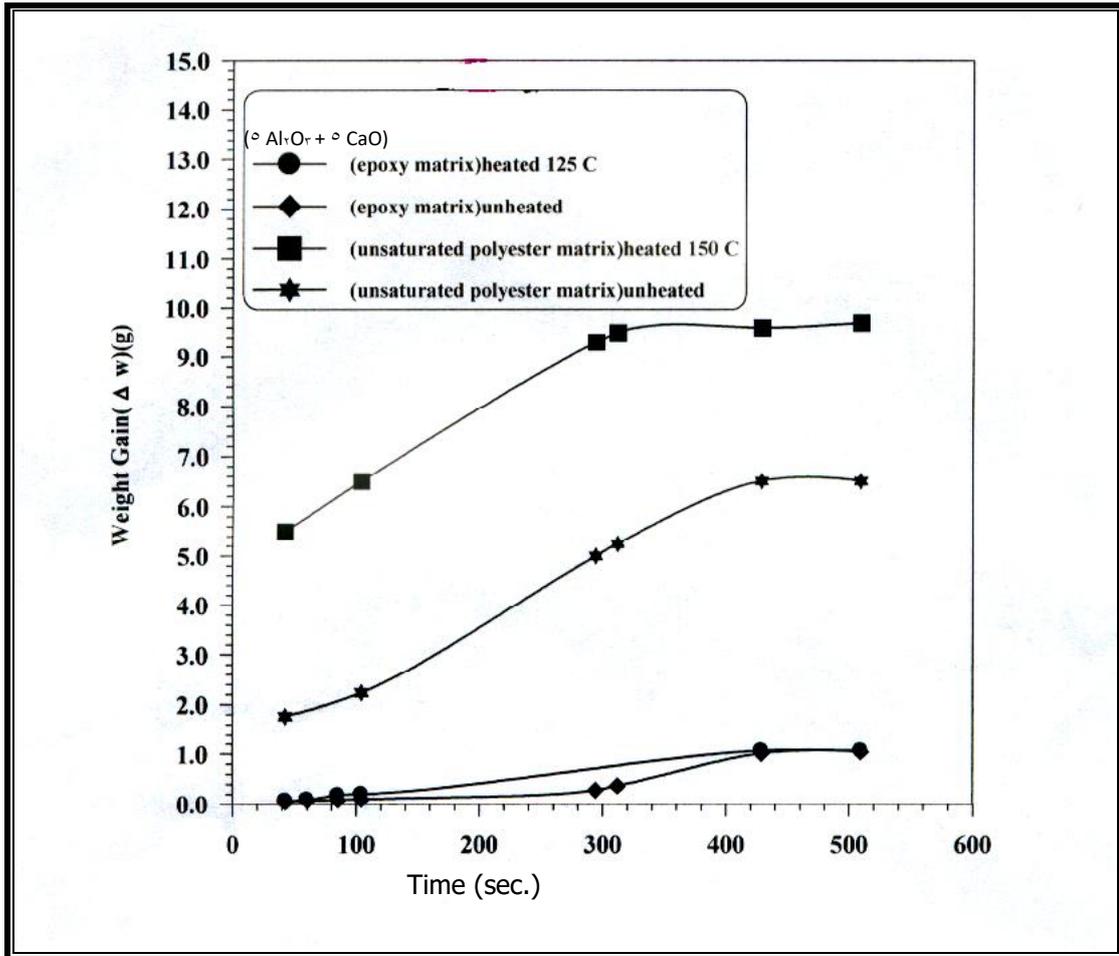
الشكل (٤-١٤): اختبار الامتصاصية لـ اوكسيد السليكون المحمولة على (راتنج البولي استر غير المشبع + الالياف الزجاجية) والمحمول على (الايبوكسي+الالياف الزجاجية) المسخنة وغير المسخنة.



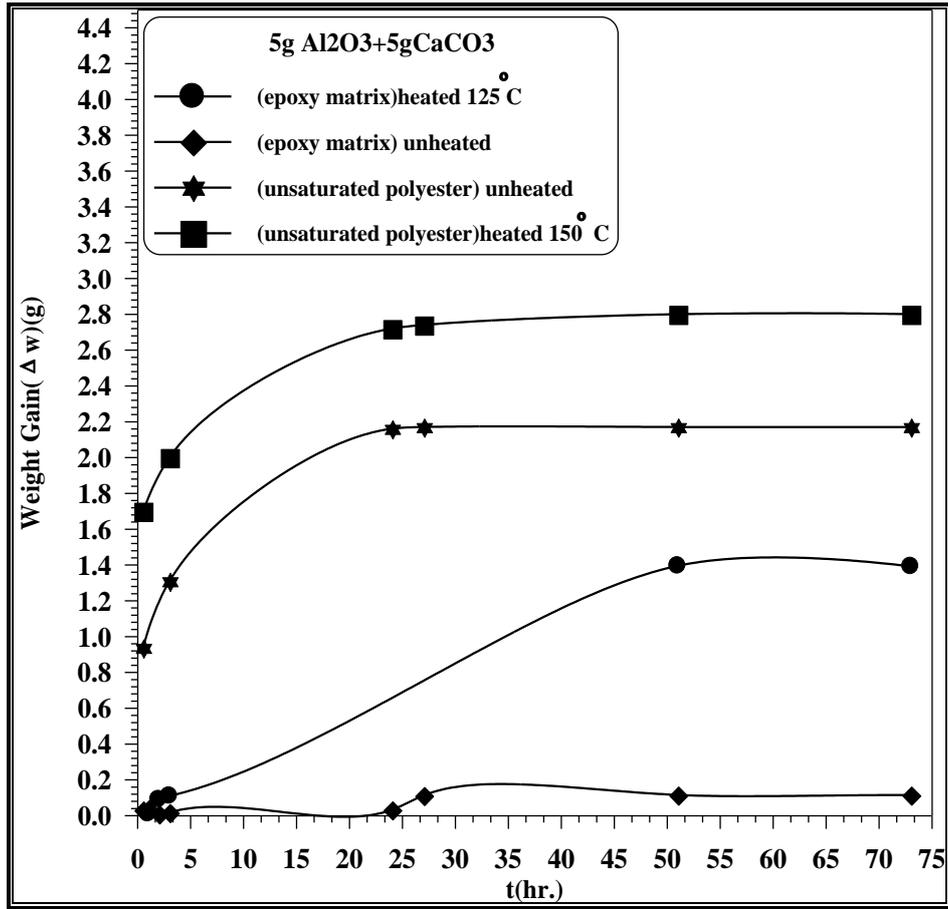
الشكل (٤-١٥): اختبار الامتصاصية لـ CaCO_3 المحمول على (البولي استر غير المشبع + الالياف الزجاجية) والمحمولة على (الايوكسي + الالياف الزجاجية) للعينات المسخنة وغير المسخنة.



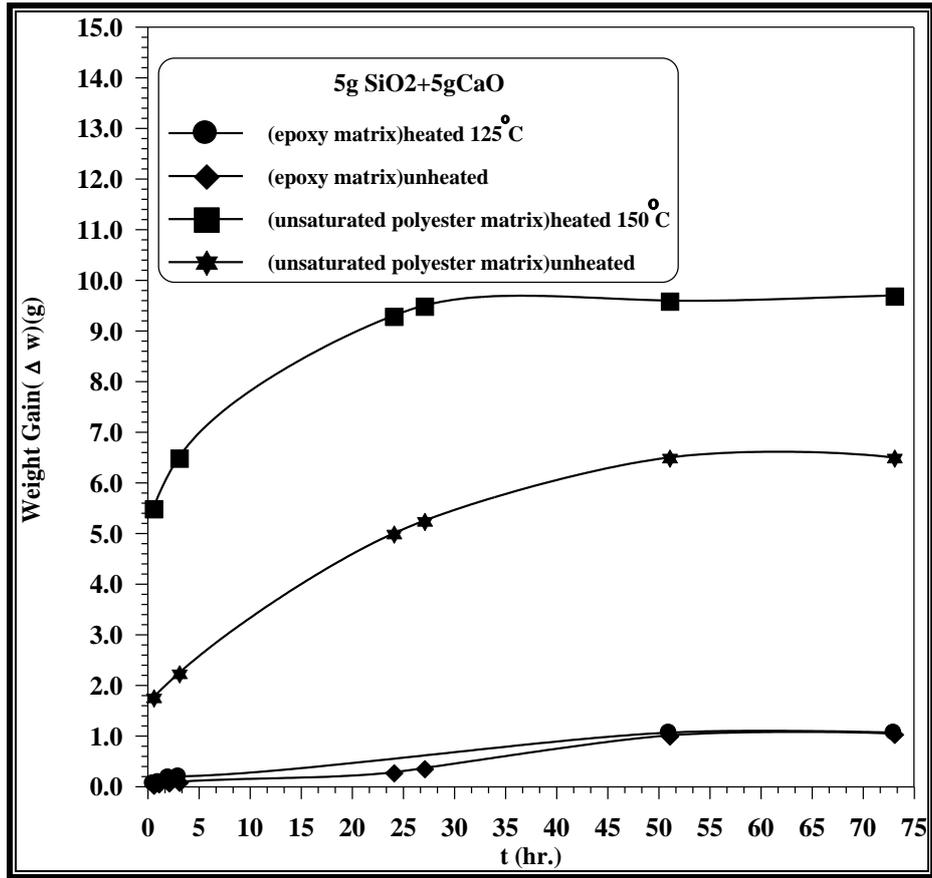
الشكل (٤-١٦): اختبار الامتصاصية للنظام ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$) للعينات المحمولة على راتنج (البولي استر غير المشبع+الالياف الزجاجية) والمحمولة على (الايوكسي+الالياف الزجاجية) المسخنة وغير المسخنة.



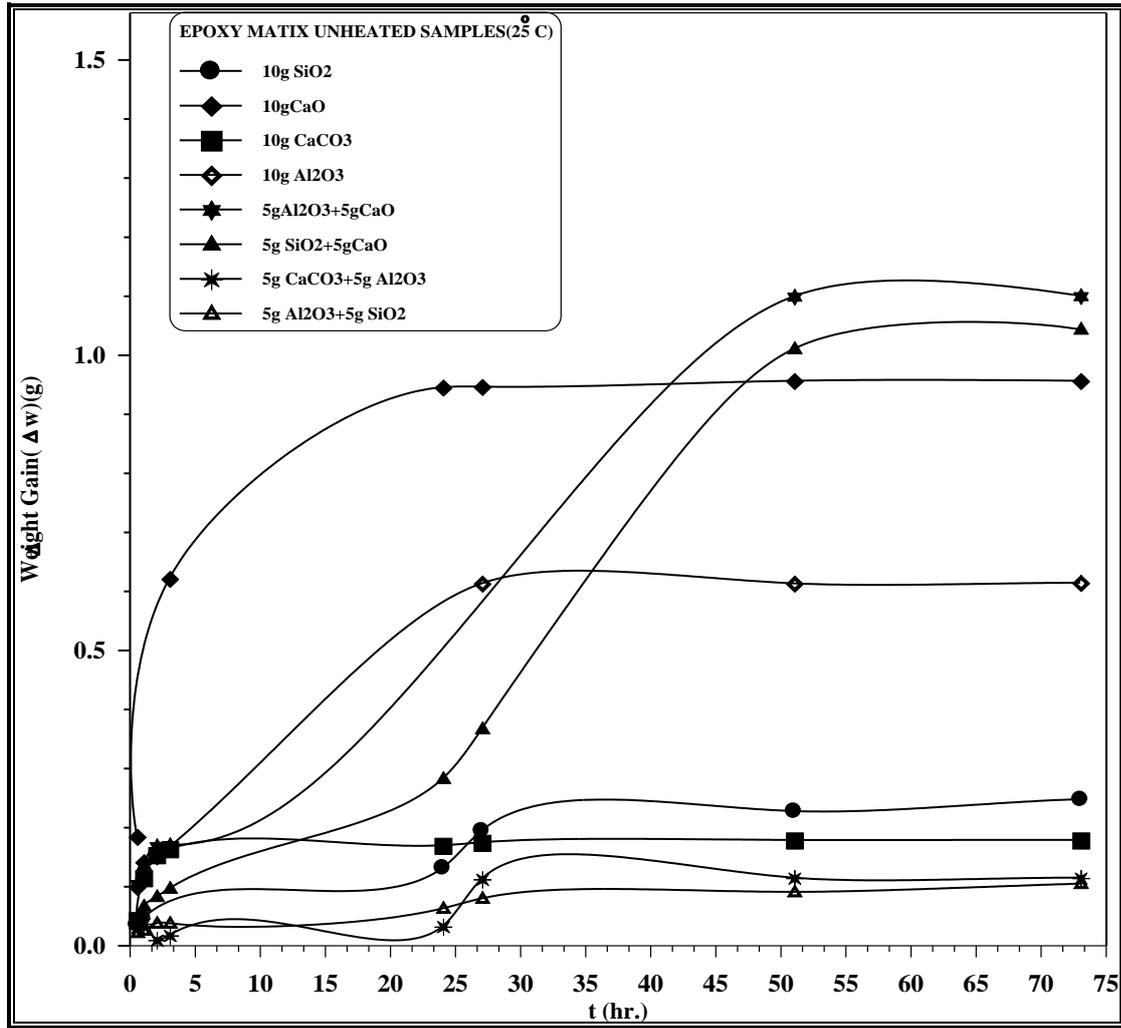
الشكل (٤-١٧): اختبار الامتصاصية للنظام (CaO/ Al₂O₃) للعينات المحمولة على راتنج (البولي استر غير المشبع+الالياف الزجاجية) والمحمولة على (الايبوكسي+الالياف الزجاجية) المسخنة وغير المسخنة.



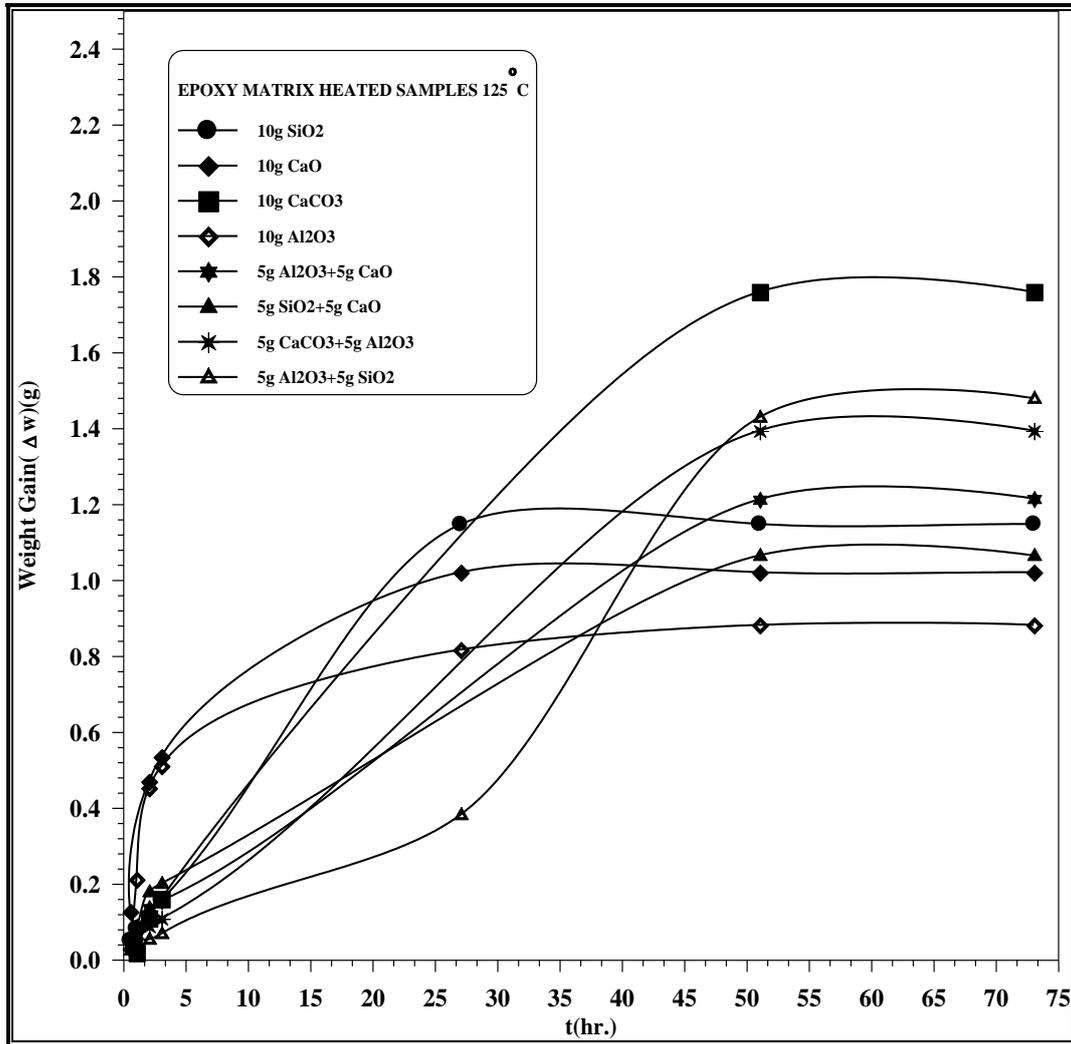
الشكل (٤-١٨): اختبار الامتصاصية للنظام (CaCO₃/ Al₂O₃) للعينات المحمولة على (البولي استر غير المشبع + الالياف الزجاجية) والمحمولة على (الايوكسي+الالياف الزجاجية) المسخنة وغير المسخنة.



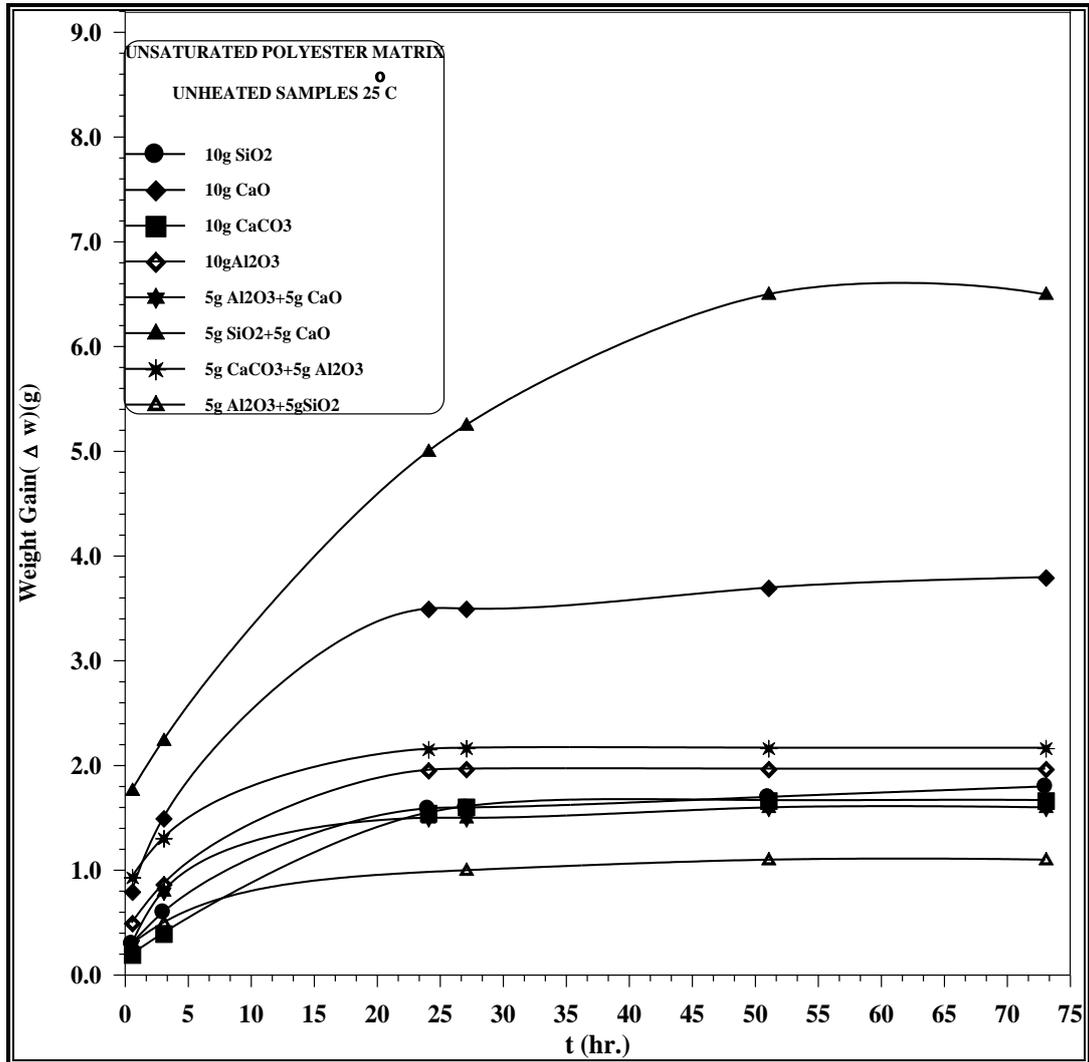
الشكل (٤-١٩): اختبار الامتصاصية للنظام (SiO₂/ CaO) للعينات المحمولة على راتنج (البولي استر غير المشبع+الالياف الزجاجية) والمحمولة على (الايبوكسي+الالياف الزجاجية) المسخنة وغير المسخنة.



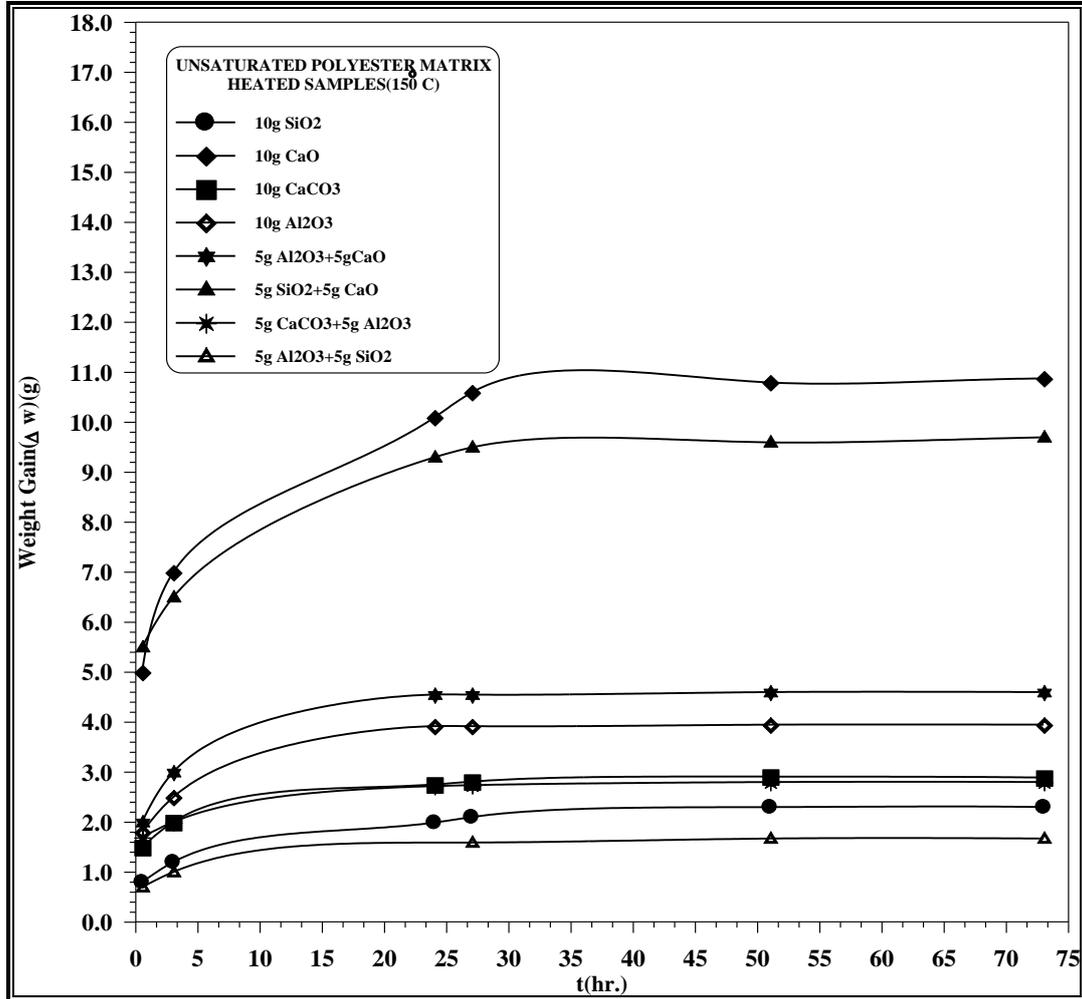
الشكل (٢٠-٤): اختبار الامتصاصية للعينات المحمولة على (راتنج الايبوكسي+الالياف الزجاجية) الغير مسخنة.



الشكل (٤-٢١): اختبار الامتصاصية للعينات المحمولة على (راتنج الايبوكسي+الالياف الزجاجية) المسخنة (١٢٥°C).



الشكل (٢٢-٤): اختبار الامتصاصية للعينات المحمولة على (راتنج البولي استر غير المشبع+الالياف الزجاجية) للعينات الغير مسخنة.



الشكل (٢٣-٤): اختبار الامتصاصية للعينات المحمولة على (راتنج البولي استر غير المشبع+الالياف الزجاجية) المسخنة (١٥٠°C).

٥-١: الاستنتاجات Conclusion

١. انظمة الخلطات افضل من الانظمة المفردة كعوازل حرارية لتعدد عمليات الامتصاص الحراري فيها.

٢. اظهر الخليط الذي تتفكك مواده حرارياً يتبعها تحول طوري ثم تفاعل كيميائي ماص للحرارة هو افضل العوازل بسبب امتصاصه للحرارة لغرض التفاعلات اعلاه وتكون غاز ثاني اوكسيد الكربون العائق للهب، كما هو الحال في مزيج $\text{CaCO}_3 +$

Al_2O_3

٣. درجات الحرارة على سطح قطعة الفولاذ في الثواني الاولى تكون واطنة في حالة تعرض النماذج الى شعلة الاستيلين-اوكسجين مقارنة بتلك المعرضة الى شعلة الغاز المسيل+ الهواء ويعود ذلك لوصول النماذج في الحالة الاولى الى العمليات الماصة للحرارة اسرع مما عليه في الحالة الثانية لشدة الحرارة في المصدر الاول من المصدر الثاني.
٤. النتائج التي تم الحصول عليها من مزيج $CaCO_2 + Al_2O_3$ كمادة عازلة ملائمة جداً للمعدات والمطلوب وقايتها من الحرارة العالية لفترات قصيرة المستخدمة لمرة واحدة.
٥. اعلى امتصاصية حققها اوكسيد الكالسيوم المحمول على مادة الاساس البولي استر الغير مشبع والمعالج حرارياً يعكس امكانية استخدامه كعامل مساعد في المحاليل المائية.
٦. النماذج المحمولة على مادة الاساس البولي استر الغير مشبع اظهرت امتصاصية اعلى من تلك المحمولة على اساس الايبوكسي.
٧. المعاملة الحرارية للنماذج اعطتها قابلية افضل بكثير مما عليه في حالة عدم المعاملة.
٨. قيم امتصاصية الخلائط لاتباع الاضافة الجبرية لقيم امتصاصية المواد المنفردة المكونة للخليط.

٢-٥: التوصيات Recommendation

١. دراسة تصميم وتصنيع عينات من هذه المواد محمولة على سطوح المعادن مباشرة لاغراض العزل الحراري لاسيما وان المواد المستخدمة في هذا البحث هي مواد رابطة.
٢. دراسة نمو الفجوات والمسامية في العينات عند معاملتها حرارياً.
٣. استخدام مذيبات غير الماء لدراسة الامتصاصية للعينات.
٤. دراسة الخواص التي تؤثر على العزل الحراري للمادة العازلة كالكثافة والحجم الحبيبي.

المصادر

١. E. P. DeGarmo, J. T. Black, and R. A. Kohser "Materials and processes in Manufacturing" Eighth Edition, John wiley and sons, pp٩٦٨-٩٦٩, ١٩٩٩.
٢. Hans Bauer, H.-G. Haldenwanger, Peter Hirth and Rolf Bruck, "Thermal Management of Close Coupled Catalysts", Society of Automotive Engineers Inc. Copyright© ١٩٩٩.
٣. Sz. Berczi, B. Boldoghy, J. Kummert, T. Varga, and I. Szilgyi, "Use of Lunur Surface Rocky Materials In Insulations of Buildings of The Moon", Space Resources Round Table VII, ٢٠٠٥.
٤. عمر موسى رمضان، خالد احمد عبد الله الغنام، "الكيمياء الصناعية والتلوث الصناعي"، الموصل- جامعة الموصل، ص٤٦٥-٤٨٧، ١٩٩١.
٥. علي ابراهيم مسلم الموسوي " دراسة استخدام مادة أوكسيد الانتيمون الثلاثي كمادة معيقة للهب " رسالة ماجستير، جامعة بابل، كلية الهندسة، قسم هندسة المواد، ٢٠٠٣.
٦. Ilhan A. Aksay*, Daniel M. Dabbs*, and Mehmet Sarikaya*, "Mullite for Structural, Electronic, and Optical Applications", J. Am ceram. Soc. ٧٤, ٢٣٤٣-٥٨, ١٩٩١.

٧. William D. Callister, Jr, "Material Science & Engineering", Department of Metallurgical Eng., John Wiley & Sons. Inc., pp ٤٣٤-٤٣٥, ٢٠٠٠.
٨. ابراهيم محمود منصور، نوال عزت، منى خضير عباس، "الوقود والأفران والحراريات"، الجامعة التكنولوجية، ص ٢٧٧-٢٧٩، ١٩٩٢.
٩. Inoue H. Hosokawa, " Properties, Features and Uses of main Insulation Materials other mineral wool" Appendix ٤.٢, Insulation Male, ١٩٩٩.
١٠. Digital Fire corporation " Digital Fire oxide Database" Canada, ٢٠٠١. (www.digitalfire.com).
١١. P.J. Durrant. "General and Inorganic chemistry" Longmans, Green and CO LTD, Second Edition, pp ٤٨٣-٤٨٤, ١٩٥٩.
١٢. قحطان الخزرجي " مبادئ هندسة المواد الالامعدنية " جامعة بابل، كلية الهندسة، ص ١٣٣، ١٩٩٤.
١٣. Chemical Land ٢١ Company "Silicon oxide" Seoul, Korea, ٢٠٠٠. (www.chemicalland21.com).
١٤. Y. – F. SU, L.F. Allard, D.W. Coffey, and W.Y. Lee, "Effect of an α -Al₂O₃ Thin Film on the Oxidation Behavior of a Single-Crystal Ni- Based Super alloy", Vol. ٣٥A, p ١٠٥٥, ٢٠٠٤.
١٥. Jeffrey D. Gulthrie, B. Battat, and B.K. Severin " Material Ease Advanced Materials Process Tech." www/Amptiac.litri.org.
١٦. H. Remy, " Treatise on Inorganic chemistry", Fifth Reprint, Elsevier Publishing company, ١٩٦٧.
١٧. Chad Johnson, "Calcite", Ball state university, Department of Industry & Technology, ١٩٩٩.
١٨. Juan R.Cruz ,C.H.Shah, and A.S.Postyn," Properties of Two Carbon Composite Materials Using LTM ٢٥ Epoxy Resin ", NASA Technical Memorandum ١١٠٢٨٦, November ١٩٩٦.
١٩. David Roylance, "Introduction To Composite Materials", Cambridge University, MA ٠٢١٣٩, March ٢٤, ٢٠٠٤.
٢٠. F.L. Matten and R.D. Rawlings Chapman and Hall "Composite Materials Engineering and Science, London, ١٩٩٤.
٢١. علي هوبي حليم, " تحسين خواص المواد اللدائنية المقساة", رسالة ماجستير، جامعة بابل، كلية الهندسة، قسم هندسة المواد، ١٩٩٩.
٢٢. عبد الفتاح محمود الطاهر، " أساسيات علم وتقنية البلمرات"، دار المريخ للنشر، الرياض- المملكة العربية السعودية، ص ٤٠٨-٤١٠، ٢٠٠٠.

٢٣. Toshio Miyahra*, Kouichi Tanabe*, Mitsuo Shimazki*, Tanak* and Takao Kobayashi*, "New Products Developed Using Environment-Friendly Elastomer Rubber", Furukawa Review, No. ٢٢, ٢٠٠٢.
٢٤. Sangect Nangia, " Behavior of polyester Resin composite (Mechanical properties at Elevated Temperature)", TIFAC ٢٠٠٢.
٢٥. Efunda Engineering Fundamentals " polymer Materials properties "; ٢٠٠١. (www.efunda.com).
٢٦. فريد بلمير، "اساسيات علم البوليمر"، ترجمة: د.صلاح محسن عليوي، معهد رينسلير البولي تكنولوجي، تروي، نيويورك، الطبعة الثانية، ص ٧١٦-٧١٧، ١٩٧١.
٢٧. Terry Gordon, "Physical Properties of Thermally Stable, Fast Cure Epoxy Adhesives for Aerospace Applications", European Large Scale Facility, Aerospace and Space Materials Technology Test house (AMTT) ARC Seibersdorf research GmbH, Austria, AMTT User No. ٣١, September, ٢٠٠٢.
٢٨. Huyk. Tran, Christine E. Johnson, Daniel J. Rasky, and Frank C. L Hui, " Phenolic Impregnated carbon Ablators (PICA) as Thermal protection systems for Discovery Missions", NASA Technical Memorandum ١١٠٤٤٠, April, ١٩٩٧.
٢٩. Walter Brenner, Dorey Lum, and Malcolm W. Riley, "High Temperature Plastics", ٢nd printing , Reinhold publishing, pp ١٦-١٢, ١٩٦٤.
٣٠. Jeffrey w. Gilman, Alex Morgan, Emmanuel P. Giannelis, Melanie wuthenow, and Evangelos Manias, "Flammability and Thermal Stability Studies of Polymer Layered-Silicate (clay) Nano Composite", Flame Retardancy conference, Stamford, USA, May ٢٤-٢٦, ١٩٩٩.
٣١. Heinrich Horacek and Stefan Pieh, " The Importance of Intumescent systems for fire protection of plastic Materials", Polymer International, P ٤٩, ٢٠٠٠.
٣٢. Jock E-Snell, " Towards Engineered Fire safety: A Global Research strategy for the ٢١st century", National Institute of standards and Technology (NIST), ٢٠٠٠.

٣٣. Jaleel K. Ahmad , " Carbon Fiber " , Institute of Al-muntasser ,serial No.٠٠١ ,١٩٩٩ .
٣٤. Viane, W. "Clay-Based Materials For Ceramic Industry" by Nosbusch, H. , Elsevier Applied science London, ١٩٨٨.
٣٥. برماكوف فياز نيكوف، "استعمال منتجات ميتالورجيا المساحيق في الصناعة"، دار مير للطباعة والنشر، الاتحاد السوفيتي-موسكو، ص١٣٣، ١٩٦٨.
٣٦. A. K. SINHA, "Powder Metallurgy" , ٢nd.edition ١٩٩٥.
٣٧. Mogilski, L. Int. Ceram, Vol. ٣٠, No.١, PP٢٤-٢٥, ١٩٩٠.
٣٨. Brownell, W. E., "Structural Clay Products", Springer verlog , New York, ١٩٧٦.
٣٩. Bigniew.Z, DJ. astrze bski, "The nature and Properties of Engineering Materials" ٢nd edition, S٣, Version, New York, ١٩٧٧.
٤٠. Marcus Langley, "Carbon Fibers in Engineering", McGraw- Hill Book company Ltd,pp٤٢٢-٤٣٥,London, ١٩٧٣.
٤١. George Lubin," Hand book of Fiberglass and Advanced plastics composite", First Edition, New York, JohnWiley and Sons,Vol.٨.pp ٤٤٧-٤٤٨, Copyright©١٩٩٩-٢٠٠٦.
٤٢. ASTM, ١٩٨٨, Standard test method for water absorption , bluk density, apparent porosity and specific gravity of fired white ware products. C. ٣٧٣-٨٨.
٤٣. Tanja Kolli, "Pd/AL₂O₃-Based Automotive Exhaust Gas Catalysts", University of Oulu, for public discussion in Kuusamaonsali (Auditorium YB٢١٠) Linnanmaa, on May ١٢th, ٢٠٠٦.
٤٤. D. Hull and TW. Clyne, "An Introduction to Composite Materials" , ٢nd Ed., Cambridge University Press, ١٩٩٦.
٤٥. R.J. Bratton, S.K.Lau, and S.Y.Lee, "Evaluation of Present Thermal Barrier Coatings for Potential Service in Electric Utility cas Turbines", NASA CR-١٦٥٥٤٥,W-٨١-٩D٦-NASA C-R٣, ١٩٩٩.
٤٦. N. Beyleryan , R. Chaltikyan, G. Safaryan, "Mechansims and Application of Radiation Modification of Solid Dispersed Material", V. Hovhannisyanyan, Yerevan Physics Institute, ٢٠٠٢.
٤٧. Nicolae Maxim, "Metal Silses quioxanes as Precursors to Microporous Metallosilicates", University Eindhoven, ٢٠٠٢.

٤٨. Zivit, GAASCR, "Molbdenum Sulfied Catalysts Promoted by Platinum Metals", Department of Catalysis and Reaction Engineering , ٢٠٠٤.
٤٩. Janos Szanyi, Jahun Kwak, Jonathan Hanson, Do Heai Kim, and Charles H. F peden, "The Nature of Nitrate Species on BaO/Al₂O₃ NO_x storage/ reduction Materials", Chemistry Science Division, Pacific North west National Laboratory, ٢٠٠٤. <http://www.iic.pnl.gov/abstracts/naes/٠-١٩٠.pdf>.
٥٠. Catalysis and Surface Chemistry Group in ORNL's, "Catalysis at Nanoscale", ORNL-Review. Vol.٣٨ No.٣, ٢٠٠٥.
٥١. W.D.Kingery, H. K. Bowen, D. R. Vhlmann, "Introduction Ceramics", Second Edition , John Wiley & Sons, Inc, pp٣٠٤-٣٠٥, ١٩٧٦.
٥٢. جي. أي. دفي، ترجمة الدكتور حبيب عبد الاحد اوغسطين، "الكيمياء اللاعضوية العامة"، كلية العلوم- جامعة صلاح الدين، ص١٨٧-١٨٩، ١٩٨٦.
٥٣. Russian Miniral, "Mineral ١.٠ minerals", ٢٠٠٣. www.spaceman.ca/mineral/Index.php?ListMina.
٥٤. N.S. AKHMETOV, "General and Inorganic Chemistry", Mirpublishers, Moscow, p٤٥٧, ١٩٨٧.
٥٥. McCahe L. E., "Anderson's Applied Dental Materials", Blackwell scientific publication, ١٩٨٥.
- محمد عبد الحمزة، "دراسة المؤثرات البيئية على الخواص الحرارية والميكانيكية للاكريللا^{٥٦}. بحث مقبول للنشر، مجلة جامعة بابل، المجلد الحادي عشر، العدد الخامس، ٢٠٠٥.
٥٧. Jeffrey W.Gilman, "Flammability and thermal stability studies of polymer layered – silicate (Clay) Nanocomposite " , Applied Clay Science .Vol.١٥, pp٣١-٤٩, ١٩٩٩ .
٥٨. A.Quede, J.Caroloso ,M.Lebras,R.Delobel , P.Gondmand,Q.Dessaux and C.Jana, "Thermal stability and Flammability studies of Coated polymer Powders Using a Plasma Fluidized bed Process " , Journal of Material Science , Vol .٣٧, No.٧, pp ١٣٩٥ -١٣٩٩ , April ٢٠٠٢ .
٥٩. Takashi Kashiwagi , Richrd H.Harris Jr, Xin Zhang ,R.M.Briber ,Bani H.Cipriano,Srinivasa ,R.ragharan,Walid H.Awad,John Rshlds , "Flame Retardant Mechanism of polyamide-٦ clay Nanocomposite" , ٢٠٠٤ .
- ٦٠ . Rick D.Davis, Jeffrey W.Gilman , Thomas E.Sutto ,John H.Callahan ,Paul C .Trulove and Huch C.Delong , "Improved Thermal stability of Organically Modified Layered Silicate " , Clay and Clay Minerale, Vol.٥٢ ,NO.٢, pp١٧١-١٧٩, ٢٠٠٤ .