Ρεπυβλιχ οφ Ιραθ
Μινιστρψ οφ Ηιγηερ Εδυχατιον
Ανδ Σχιεντιφιχ Ρεσεαρχη
Βαβψλον Υνιωερσιτψ

Υσινγ Στυδψ οφ Αντιμονψ Τριοξιδε Ματεριαλ ασ α Φλαμε Ρεταρδαντ Ματεριαλ

A Τηεσισ

Συβμιττεδ το τηε Βαβψλον Υνιωερσιτψ – Ενγινεερινγ Χολλεγε – Ματεριαλσ Δεπαρτμεντ ιν Παρτιαλ Φυλφιλλμεντ οφ τηε Ρεθυιρεμεντσ οφ τηε Δεγρεε οφ Μαστερ Σχιενχε ιν Ματεριαλσ Ενγινεερινγ

Βψ

Αλι Ιβραηιμ Μοσλεμ Αλ–Μοσαωι

Συπερωισεδ βψ

Δρ.Καηταν Κ.Αλ–Κηαζραφι Δρ.Θαλεελ Κ.Α
λ–Καφαφι

Μαρχη 2003 Μυηαρραμ 1424

بِسمِ اللهِ الرَّحمنِ الرَّحِيمِ

وَمَآ أُوتِيتُمْ مِّنَ الْعِلْمِ إِلا قَلِيلاً

صَدقَ الله العِلِي العَظِيم

سورة الإسراء

الآية(٨٥)

الإهداء

إلى المعلم الذي كرس حياته لتربيتي وتعليمي ... إلى الذي فتح الله بدعائه كل الأبواب التي أُقفلتْ بوجهي

والدي العزيز

إلى من وقفت إلى جانبي في السراء والضراء

زوجتي

إلى صاحبات القلوب والألسن التي كانت تدعو لي

أخواتي

إلى الأستاذ الذي أعتبره مَثَلِي الأعلى في هذه الحياة ... إلى الأستاذ الذي أصبو لأن أصل إلى مستواه يوماً ما

قحطان الخزرجي

إلى الغائبتين الحاضرتين ... إلى من تزياني رغم المسافات وإختلاف العوالم

جدتي وأُمي رحمهما الله

إلى الذي أصبح بالنسبة لي أبي الثاني و إلى التي أعادت لي حنان الأم

عمي و عمتي

إلى التي كانت لّي خير عَون ... إلى التي كانت كلماتها الطيبة تهون كل المصاعب

بتول حاتم سعدون

إلى من سبقه الزمن ... إلى من صعد على أكتافه الآخرون ... إلى الشمعة التي إحترقت في سبيل الآخرين

أخي وصديقي طارق مجيد العطار

علي

الشكر
و
التقدير

بعد تقديم كل الشكر والحمد والثناء إلى الله سبحانه وتعالى المتفضل الأول والأخير في إكمال هذا البحث ، ومن بعده فلا يسعني إلا أن أتقدم بكل الشكر والتقدير والإمتنان إلى أُستاذي ومثليَ الأعلى الأستاذ الدكتور قحطان خلف محمد الخزرجي الذي كان لي طيلة فترة البحث الأستاذ توجيهاته العلمية و آراءه السديدة ورؤيته الصائبة ، والأب في عطفه وحِنوه وتقديمه كل ما يستطيع من مساعدة وصبره معي في سبيل إخراج هذا البحث.

كذلك أتقدم بكل الشكر والتقدير إلى الدكتور جليل كريم أحمد الخفاجي لِما أبداه من توجيهات علمية وماقدمه من مساعدة من أجل إكمال هذه الدراسة.

قرار لجنة المناقشة

نشهد بأننا أعضاء لجنة المناقشة إطلعنا على الرسالة الموسومة (دراسة إستخدام مادة أُوكسيد الأنتيمون الثلاثي كمادة مُعيقة للَّهَب) ، وقد ناقشنا الطالب الذي أعدها (علي إبراهيم مسلم الموسوي) في محتوياتها وفيما له علاقة بها ونقر بأنها جديرة لنيل درجة الماجستير في هندسة المواد.

د. قحطان خلف الخزرجي
عضواً - مشرفاً
أُستاذ - الجامعة التكنلوجية

د. جليل كريم الخفاجي
عضواً - مشرفاً
رئيس باحثين - معهد المنتصر

د. تحسين علي الحطاب
عضواً - رئيس اللجنة
أُستاذ مساعد - جامعة بابل

د. علاء محمد حسين
عضواً
مدرس - جامعة بابل

د. بلقيس محمد الدباغ
عضواً
أُستاذ مساعد - الجامعة التكنلوجية

مصادقة رئيس قسم هندسة المواد
الدكتور تحسين علي الحطاب

مصادقة عمادة كلية الهندسة
الدكتور هارون عبد الكاظم شهد

وكذلك أشكر قسم هندسة المواد في جامعة بابل والجامعة التكنلوجية لما وفروه من مستلزمات لإكمال البحث .

وأتقدم بالشكر والإمتنان والتقدير إلى الأستاذ عبد الرضا صالح لِما قدمه لي من مساعدة أبقى مديناً له بها مابقيت. كذلك أتقدم بالشكر إلى السيد جميل بردان و السيد عبد الرحيم كاظم والسيد عدي عبد علي والست صحراء وأصدقائي علاء ومشتاق وحيدر لِما قدموه من مساعدة.

علي

إبراهيم

إقرار المشرف

نشهد بأن إعداد هذه الرسالة الموسومة " دراسة إستخدام مادة أُوكسيد الأنتيمون الثلاثي كمادة معيقة للَّهَبْ " جرى تحت أشرافنا في قسم هندسة المواد- كلية الهندسة- جامعة بابل وهي جزء من متطلبات نيل درجة الماجستير في هندسة المواد.

المشرف
د.قحطان خلف محمد الخزرجي

المشرف
د.جليل كريم أحمد الخفاجي

الخلاصة

نتيجة للأهمية المتزايدة في البحث عن مواد لها القابلية على الحد من الأخطار والخسائر البشرية والمادية التي تسببها الحرائق وكذلك البحث عن مواد لها القدرة على مقاومة اللهب المتولد من الحرائق وفي نفس الوقت تعمل كمادة عازلة ، لذلك جاءت هذه الدراسة لتقدم مادة تجمع بين هاتين الصفتين وهي أوكسيد الأنتيمون الثلاثي (Sb_2O_3) .

في الدراسة الحالية تم إستعراض طريقة تحضير أوكسيد الأنتيمون الثلاثي وكذلك عرض مفصل لخواصه الحرارية والفيزياوية إضافة إلى وصف طريقة تصنيع الطبقة العازلة المكونة من هذا الاوكسيد التي تكون بشكل طبقة طلاء بسمك (2mm) يتم لصقها على مادة مركبة مكونة من راتنج البولي أستر غير المشبع وألياف الزجاج العشوائية حيث تعمل هذه المادة المركبة كمادة لاصقة وداعمة لطبقة الاوكسيد العازلة والمعيقة للّهب .

ولتقييم كفاءة أوكسيد الأنتيمون الثلاثي في العزل الحراري وإعاقة اللّهب فقد تم إجراء عدة إختبارات حرارية عليه وهي إختبار الشعلة الحرارية وإختبار المُوصِلية الحرارية في درجات الحرارة الواطئة وكذلك إختبار السعة الحرارية .

لقد أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها من إختبار الشعلة الحرارية الذي تم بدرجات حرارة (2000ºC) و (3250ºC -3000ºC) كفاءة أوكسيد الأنتيمون الثلاثي كمادة معيقة للّهب وفي الوقت نفسه كفاءته في العزل الحراري في هذه الدرجات العالية .

كما بينت نتائج إختبار المُوصِلية الحرارية بأن أوكسيد الأنتيمون الثلاثي هو مادة مُوصِلة للحرارة في درجات الحرارة الواطئة التي لا تتجاوز درجة الإنتقال الزجاجي حتى لا يحدث تغير في خواص الراتنج .

لقد أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها إختبار السعة الحرارية بأن أوكسيد الأنتيمون الثلاثي يمتلك سعة حرارية أكبر من المادة الأولية التي يُحَضر منها، وهي الأنتيمون .

بينت الدراسة أيضاً أنه بالإمكان تحسين الخواص الحرارية لاوكسيد الأنتيمون الثلاثي من خلال إضافة مادة بورات الزنك التي لها القدرة على إعاقة إنتشار اللّهب وبالتالي زيادة كفاءة أوكسيد الأنتيمون الثلاثي في إعاقة اللّهب والعزل الحراري .

التسلسل	الموضـــــــــــوع	الصفحة
	ملحق الأشكال	v
	ملحق الجداول	vii
	الخلاصة	viii

الفصل الأول - المقدمة

١,١	المقدمة	١
1.2	هدف الدراسة	٤
1.3	ترتيب الإطروحة	٤

الفصل الثاني – الجانب النظري

2.1	المقدمة	٦
2.2	المواد المعيقة للهب	٦
2.3	إسلوب عمل معيقات اللهب	٦
2.3.1	الفعل الفيزياوي	٧
2.3.2	الفعل الكيمياوي	٨
2.4	تصنيف المواد المعيقة للهب	٨

2.4.1	المواد المضافة	٨
2.4.2	المواد المتفاعلة	٩
2.4.3	المواد المدمجة	٩
2.5	أنواع المواد المعيقة للهب	٩
2.5.1	معيقات اللهب غير العضوية	٩
2.5.2	معيقات اللهب الهالوجينية	١٠
2.5.3	معيقات اللهب الفسفورية	١١
2.5.4	معيقات اللهب النايتروجينية	١٢
2.6	المادة الأولية المستخدمة في تحضير أوكسيد الأنتيمون الثلاثي	١٢
2.٧	الأنتيمون	١٢
2.٨	تحضير الأنتيمون	١٤
2.٩	أنواع الأنتيمون	١٥
2.9.1	الأنتيمون المعدني	١٦
2.9.2	الأنتيمون الأسود	١٧
2.9.3	الأنتيمون الأصفر	١٨
2.9.4	الأنتيمون المتفجر	١٨
2.10	أكاسيد الأنتيمون	٢٠
2.10.1	أوكسيد الأنتيمون الثلاثي	٢١
2.10.1.1	مزايا ومحددات أوكسيد الأنتيمون الثلاثي	٢٣
2.10.1.2	طرق تصنيع الاوكسيد الثلاثي	٢٤
2.10.2	أوكسيد الأنتيمون الخماسي	٢٧
2.10.3	أوكسيد الأنتيمون الرباعي	٢٧
2.11	المواد المركبة	٢٨
2.11.1	المادة الأساس	٢٨
2.11.2	مواد التقوية	٢٩
2.12	إختبار التعرية الحرارية	٣١

2.13	المُوصِلية الحرارية	٣٣
2.14	السعة الحرارية	٣٦
2.15	مراجعة الأدبيات	٣٩

الفصل الثالث – الجانب العملي

3.1	المقدمة	٤١
3.2	تهيئة المادة الأولية المستخدمة في تحضير المادة المعيقة للّهب	٤١
3.3	تحضير المادة المعيقة للّهب	٤٢
3.4	المادة المضافة الى أوكسيد الأنتيمون الثلاثي لتحسين إعاقته للّهب	٤٢
3.5	تهيئة المادة الأولية المستخدمة في تحضير المادة المركبة	٤٤
3.5.1	راتنج البولي أستر غير المشبع	٤٤
3.5.2	الألياف الزجاجية	٤٥
3.6	تحضير نماذج الفحص	٤٦
3.6.1	نماذج إختبار التعرية الحرارية	٤٦
3.6.2	نماذج إختبار المُوصِلية الحرارية	٤٨
3.6.3	نماذج إختبار السعة الحرارية	٥٠
3.7	الإختبارات الحرارية	٥٠
3.7.1	إختبار التعرية الحرارية	٥٠
3.7.1	إختبار المُوصِلية الحرارية	٥٠
3.7.1	إختبار السعة الحرارية	٥٠

الفصل الرابع - النتائج

4.1	المقدمة	٥٢
4.2	إختبار التعرية الحرارية	٥٢
4.3	إختبار المُوصِلية الحرارية	٥٢
4.4	إختبارالسعة الحرارية	٥٣

الفصل الخامس – المناقشة

5.1	المقدمة	٦٦
5.2	إختبار التعرية الحرارية	٦٦
5.3	إختبار المُوصِلية الحرارية	٧٠
5.4	إختبارالسعة الحرارية	٧١
5.5	الإستنتاجات	٧٢
5.6	التوصيات	٧٢

المصادر

قائِمَة الرمُوز

الرمز	معنى الرمز	الوحدات
q	كمية الحرارة المارة بوحدة الزمن(القدرة المسلطة)	W
k	معامل الموصلية الحرارية	W/m.ºC
A	مساحة مقطع إنسياب الحرارة	m^2
$\Delta T / \Delta X$	التدرج الحراري نسبة للمسافة (الإنسياب الحراري)	ºC/m

C	السعة الحرارية	J/ºC
dT	التغير بدرجة الحرارة	ºC
c	الحرارة النوعية	J/g.ºC
m	كتلة المادة	g
$\Delta T / \Delta t$	معدل التغير بدرجة الحرارة مع الزمن	ºC/sec

قائِمَة المُصْطَلحاتْ

Trioxide	أوكسيد ثلاثي
Tetroxide	أوكسيد رباعي
Pentoxide	أوكسيد خماسي
Flame Spread	إنتشار اللهب
Ignition	إشتعال
Swell	إنتفاخ
Intumescent	إنتفاخ
Pigments	أصباغ (حُبيبات ملونة)
Polymer	بوليمير

Thermal Erosion	تعرية حرارية
Decomposition	تفكك
Dibasic	ثنائي القاعدة
Free Radicals	جذور حرة
Fillers	حشوات
Paints	دِهان أو طِلاء
Resin	راتنج
Torch	شعلة حرارية
Translceability	شفافية
Thermal Insulation	عزل حراري
Colloidal	غروي
Endothermic Processes	عمليات ماصة للحرارة
Flammability	قابلية الإلتهاب
Combustibility	قابلية الإحتراق
Recycleability	قابلية الإعادة
Rhombohedral	معيني (موشور رباعي)
Cubic	مكعب
Adhesives	مواد لاصقة
Composite Material	مادة مركبة
Stablizer	مثبت
Orthorhombic	معيني
Flame Retardant Material	مادة معيقة للّهب
Insulators Material	مادة عازلة
Thermoplastic	مطاوع بالحرارة
Thermosetting	متصلب بالحرارة
Synergist	محفز
Permability	نفاذية

التسلسل	عنوان الجدول	الصفحة

2-1	الخواص الفيزياوية و الكيمياوية للأنتيمون المعدني	١٧
2-2	مقارنة بين أنواع الأنتيمون الأربعة	١٩
2-3	خواص أوكسيد الأنتيمون الثلاثي(Sb_2O_3)	٢٢
2-4	مقارنة بين أكاسيد الأنتيمون	٢٧
2-5	خواص راتنج البولي أستر	٣١
2-6	درجات حرارة الشعلة المتولدة من عدد من الغازات	٣٢
3-1	التركيب الكيمياوي للأنتيمون الأسود	٤٢
3-2	التركيب الكيمياوي للأنتيمون المعدني	٤٣
3-3	التركيب الكيمياوي لبورات الزنك	٤٤
3-4	مكونات ألياف الزجاج ونسبها المئوية	٤٦

الفصل الأول
المقدمة

١,١ ـ المُقدَمـــــَة (Ιντροδυχτιον).

تستدعي الحاجة في الكثير من التطبيقات الصناعية إلى جعل المُوصِلية الحرارية في أدنى قيمة لها ،لذلك يتم إضافة مواد لهذه المنتجات- ومنها صناعة المواد المركبة- ذات قابلية على إعاقة إنتقال الحرارة تسمى المواد العازلة (Insulation Materials) وتدعى هذه القابلية بالعزل الحراري(Thermal Insulation) .

يمكن تعريف المواد العازلة بأنها المواد التي تمنع أو تُعيق إنتقال الحرارة من السطح المتعرض للحرارة إلى السطح الأخر من جسم معين ، ويعتمد مبدأ العزل الحراري على خفض إنتقال الحرارة عن طريق إستبدال ممر إنسياب الحرارة القصير ذي المقاومة الحرارية المنخفضة بممر طويل ذي مقاومة مرتفعة[١] .

من أهم الخواص التي تُراعى في حالة إختبار نوع العازل هي الخواص الحرارية ومن أهمها المُوصِلية الحرارية (Thermal Conductivity) التي يجب أن تكون قيمتها واطئة في الكثير من التطبيقات[١] ، ولكنه ليس من الضروري دائماً أن تمتلك المادة العازلة موصلية حرارية منخفضة وكمثال على ذلك رقائق الألمنيوم (Aluminum Foils) التي تمتلك مُوصِلية أكبر بمقدار خمسة آلاف مرة في حالة العزل بدرجات الحرارة المنخفضة ولكن في الوقت نفسه تُعد عازلاً جيداً إذا أُستخْدمتْ مع الهواء حيث ترتب على شكل صفائح عمودية أو أفقية تكون مفصولة بمسافات معينة تحصر بينها الهواء ونتيجة لإختلاف معامل الموصلية الحرارية بين رقائق الألمنيوم (202 W/m.ºC) ومعامل الموصلية الحرارية للهواء (0.024 W/m.ºC) تحدث إعاقة لإنتقال الحرارة مما يولد عزلاً حرارياً جيداً كما ذكرنا[١] .

الخاصية المهمة الأخرى هي السعة الحرارية (Heat Capacity) والتي تُعد مقياساً لكمية الحرارة الممتصة أثناء إرتفاع درجة حرارة المادة إذ يفضل العازل ذي السعة الحرارية الأعلى .

كذلك تُعد قابلية الإشتعال (Combustibility) أو قابلية الالتهاب(Flammability) من الخواص الحرارية المهمة حيث يفضل إستعمال العازل الذي يمتلك أقل قابلية إشتعال أو إلتهاب لتقليل خطر الإحتراق.

إضافة إلى العوامل السالف ذكرها ، تتأثر المواد العازلة بعدد آخر من العوامل منها النفاذية (permability) حيث تعمل نفاذية المادة العازلة على خفض المُوصِلية الحرارية لها ، كذلك تؤثر كثافة المادة العازلة(Density) على المُوصِلية الحرارية حيث تسبب الكثافة العالية على رفع أو زيادة المُوصِلية الحرارية ، ويُعزى السبب في ذلك إلى إن زيادة النفاذية أو نقصان الكثافة إلى زيادة جيوب الهواء ضمن المادة والتي تعتبر وسيطاً رديئاً للتوصيل الحراري .

أما درجة الحرارة(Temperature) فأنها تؤثر بشكل عكسي بالنسبة للمواد العازلة مما هو في المواد المُوصِلة(Conductor Materials) ،إذ بإنخفاض درجة الحرارة تزداد الموصلية الحرارية للمادة العازلة، ويعود السبب في هذا التغير إلى الإهتزازات الأولية للجسيمات الموصلة للحرارة (الفونونات). كذلك يمتلك الضغط (Pressure) تأثيراً على المُوصِلية الحرارية حيث يعمل على زيادة الموصلية الحرارية كلما إرتفعت قيمته .

أما بالنسبة لبخار الماء(Water Vapor) فإنه يمتلك تأثيراً مشابهاً للضغط حيث يَعمل أيضاً على رفع قيمة المُوصِلية الحرارية إلى قيمة أكبر والشكل رقم (١-١) يوضح تأثير هذه العوامل على المُوصِلية الحرارية .

يمكن أن تضاف المواد العازلة إلى المواد التي تكون بتماس مع الحرارة على شكل حشوات (Fillers) لخفض مُوصِليتها الحرارية في درجات الحرارة العالية نسبياً وبشرط أن تكون هذه المواد غير متعرضة إلى مصدر لهب مباشر(Direct Flame) .

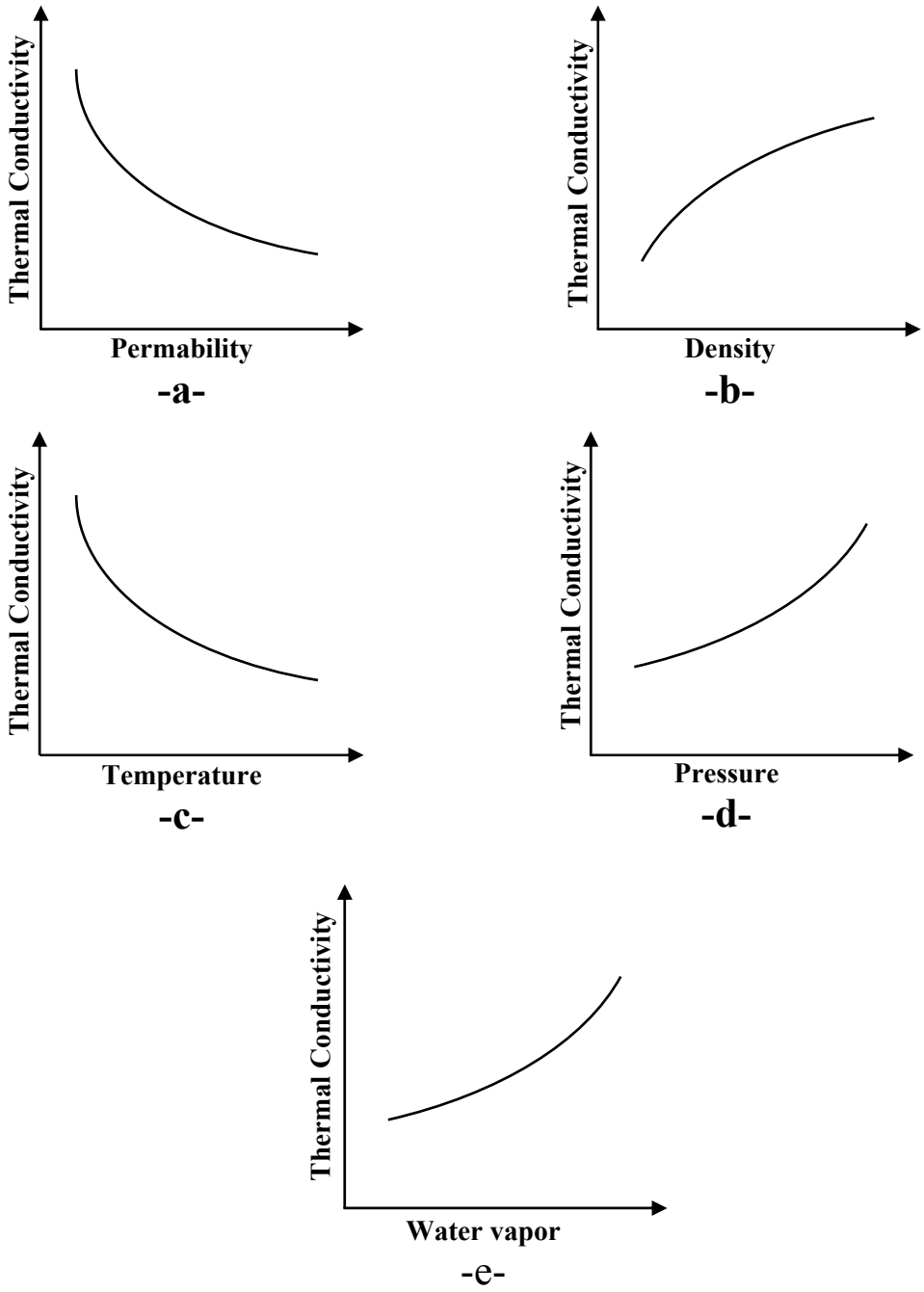
أما في حالة تعرض هكذا مواد إلى لَهب مباشر فإن الحشوات تصبح عديمة الفائدة ، لذلك يُلجأ إلى طريقة أُخرى وهي الطِلاء(Coating) بمواد عازلة لها القابلية على تحمل درجة حرارة اللّهب التي قد تصل في بعض التطبيقات إلى أكثر من (3000°C) تسمى مثل هذه المواد بالمواد المعيقة للّهب (Flame Retardant Materials) حيث تعمل على منع نفاذ وإنتشار اللّهب وحتى إخماده نهائياً .

هنالك إسلوبان معروفان لإعاقة اللّهب ويعتمد الأسلوب الأول على منع وصول الأوكسجين إلى منطقة اللهب عن طريق توليد غازات غير قابلة للإحتراق حيث تسبب هذه الغازات في تسمم اللّهب بالجذور الحرة وإخماده[٢] .

أما الإسلوب الثاني فإنه يعتمد على نظرية الإلتهاب الحرارية والتي تنص على إن معيقات اللّهب تحتاج إلى طاقة حرارية كي تتفكك مما يؤدي إلى خفض حرارة سطح المادة إلى درجة حرارة أقل من درجة إتقادها وبالتالي يتوقف الإحتراق [٢] .

من الأمثلة على المواد المعيقة للّهب هي أكاسيد الأنتيمون وخاصة أُوكسيد الأنتيمون الثلاثي (Antimony Trioxide) والمواد التي تحتوي على عناصر الكلور و البروم التي تدعى بالمركبات الهالوجينية (Halogenated Compounds) و مركبات كل من الفسفور (Phosphorus) والبورون (boron) والنتروجين(Nitrogen).

من الناحية الإقتصادية تعمل المواد المعيقة للّهب على الحد من الضرر الذي تسببه الحرائق على الإنسان وممتلكاته على حد سواء.



الشكل رقم(١-١)

العوامل المؤثرة على الموصلية الحرارية للمادة العازلة[١]

a - النفاذية. b – الكثافة. c- درجة الحرارة. d-الضغط. e- بخار الماء.

١,٢- هدف الدراسة (Αιμ οφ τηε Ωορκ).

تسعى هذه الدراسة إلى تحقيق هدفين أساسيين:-

١- تحضير وتصنيع مادة معيقة للّهب مكونة من أكسيد الأنتيمون الثلاثي(Antimony Trioxide) لها القدرة على إعاقة إنتشار اللّهب وبالتالي إخماده مما يقلل من الأخطار المتولدة من الحرائق.

٢- تصنيع عازل حراري متقدم من هذا أكسيد الأنتيمون الثلاثي يستطيع تحمل درجات حرارية عالية تصل إلى أكثر من (3000ºC) إلى جانب إعاقته لإنتشار اللّهب(Flame Spread).

1.3- ترتيب الإطروحة (Τηεσισ Αρρανγεμεντ).

تضم الإطروحة خمسة فِصول ،مرتبة علىالشكل الآتي :

الفصل الأول يشتمل على المقدمة والتي تتضمن معلومات عامة عن المواد العازلة وكذلك يضم هذا الفصل هدف الدراسة.

أما **الفصل الثاني** فهو يخص الجانب النظري ،حيث يتطرق هذا الفصل وبشكل مفصل إلى كل ما يتعلق بالمواد المعيقة للّهب ومن ضمنها أوكسيد الأنتيمون الثلاثي موضوع الدراسة ،كذلك يتعرض للمواد الأولية المستخدمة في تحضير هذا الاوكسيد ، والمادة المركبة الساندة له وأهم الخواص الحرارية التي يتم أخذها بنظر الإعتبار في حالة تصنيع مادة عازلة.

الفصل الثالث من الإطروحة هو الجانب العملي، الذي يتضمن تهيئة المادة الأولية المستخدمة في تصنيع أُوكسيد الأنتيمون الثلاثي وطريقة تحضيره ،إضافة إلى إستعراض كيفية تصنيع العينات الخاصة بالإختبارات الحرارية ،وكذلك شرح للإختبارات الحرارية التي أُجريتْ على المادة المعيقة للهب.

الفصل الرابع هو فصل النتائج ، حيث يستعرض النتائج التي تم الحصول عليها من الإختبارات الحرارية التي أُجريتْ على أُوكسيد الأنتيمون الثلاثي(المادة المعيقة للّهب).

ويضم **الفصل الخامس** والأخير مناقشة نتائج الإختبارات الحرارية وعرض للإستنتاجات التي تم التوصل لها وكذلك بعض التوصيات للأعمال المستقبلية.

الفصل الثاني
الجانب النظري

2.1- المُقدَمَـــــــة (Ιντροδυχτιον) .

يتطرق هذا الفصل إلى ماهية المواد المعيقة للّهَبْ وأسلوب عملها كذلك يبين التصنيف العملي لهذه المواد وأنواعها ومن ضمنها أوكسيد الأنتيمون الثلاثي موضوع البحث والمادة الأولية المستخدمة في تحضيره إضافة إلى المادة اللاصقة والمادة الداعمة للمادة المعيقة للّهب وهي راتنج البولي أستر غير المشبع والألياف الزجاجية (المادة المركبة).

2.2 – المواد المعيقة للّهَبْ (Φλαμε Ρεταρδαντ Ματεριαλσ).

تُعرَفْ المواد المعيقة للّهَبْ على إنها مواد كيمياوية لها القدرة على تحمل اللّهب المباشر حيث تعمل على منع نفاذه داخل المادة وكذلك منع إنتشاره(Spread) وحتى إخماده بشكل كامل ،وتضاف إلى مواد ليس لها القدرة على مقاومة اللّهب لتحسين خواصها الحرارية[٣] . من أكثر المواد التي تُضاف إليها معيقات اللّهب هي اللدائن (Plastics) ، الأنسجة (Textiles) ، والدوائر الإلكترونية (Electronic Circuits) ومواد أخرى[٤] .

وتضاف المواد المعيقة للّهب أثناء أو بعد تصنيع المواد المراد حمايتها من الإحتراق . إن تطور معيقات اللّهب سمح بالإستعمال الآمن للمواد التي لها القابلية للإشتعال عن طريق خفض قابليتها للإشتعال وخفض معدل إحتراقها . تحتوي معظم معيقات اللّهب على عناصر الفسفور والأنتيمون و الكلور و البروم و البورون والنتروجين .

2.3- إسلوب عمل معيقات اللّهَبْ (Μοδε οφΑχτιον of Φλαμε Ρεταρδαν τσ.)

إن عملية إعاقة اللّهب أو حتى إيقافه تعتمد على طبيعة المادة المعيقة للّهب ، حيث يمكن أن تعمل معيقات اللّهب كيمياوياً أو فيزياوياً في الحالة الصلبة والسائلة والغازية ، إذ تتداخل المادة المعيقة للّهب مع عملية الإحتراق(Combustion process) خلال مراحل مختلفة من هذه العملية وبكلام آخر أثناء التسخين (Heating) والتفكك أو التحلل (Decomposition) والإشتعال (Ignition) أو إنتشار اللّهب (Flame spread) وفيما يأتي عرض لكل من الفعل الفيزياوي والفعل الكيمياوي لإعاقة اللّهب[٥] .

2.3.1- الفعل الفيزياوي (Πηψσιχαλ Αχτιον).

ويحصل بعدة طرق هي:-

١- التبريد (Χοολινγ) .

المواد المضافة تطلق عمليات ماصة للحرارة (Endothermic Processes) تعمل على تبريد الطبقة السفلية للمادة إلى درجة حرارية أقل من درجة الإحتراق . ومن أمثلة معيقات اللّهب التي تتصرف هكذا هي هايدروكسيد الألمنيوم[٥] .

2- تكوين طبقة حامية (الطلاء) (Φορματιον Οφ Προτεχτιωε λαψερ).

يتم تكوين طبقة طلاء شبة زجاجية عازلة تعمل على طرد الأوكسجين اللازم لإستمرار عملية الإحتراق مما يؤدي إلى إعاقة إنتقال الحرارة وخير مثال على هكذا معيقات لّهب هي مركبات الفسفور اللاعضوية والبورون[٥] .

3- التخفيف (Διλυτιον).

إن إندماج المواد الخاملة (الحشوات) والمضافات التي تبعث غازات خاملة عند تحللها حرارياً تعمل على تخفيف الوقود في كل من الحالة الصلبة والغازية بحيث لا يتم تجاوز الحدود الدنيا لإشتعال خليط الغاز . مركبات الفسفور والبورون تسلك هذا السلوك[٦] .

2.3.2- الفعل الكيمياوي (Χηεμιχαλ Αχτιον) .

ويحصل بطريقتين رئيستين وهما التفاعل في الحالة الغازية والتفاعل في الحالة الصلبة .

١- التفاعل في الحالة الغازية (Ρεαχτιον Ιν Τηε Γασ Πηασε).

يتم إيقاف ميكانيكية الجذر الحر (Free Radical Mechanism) والحاصلة في الحالة الغازية بواسطة المواد المعيقة للّهب ، مما يؤدي إلى توقف العمليات الباعثة للحرارة(Exothermic Process) وبالتالي يبرد النظام . كما يتم خفض نسبة الغازات القابلة للإشتعال وحتى منعها نهائياً . المواد المعيقة للّهب التي تسلك هذا السلوك هي المركبات الهالوجينية[٦] .

2- التفاعل في الحالة الصلبة (Ρεαχτιον Ιν Τηε Σολιδ Πηασε).

يتم تكوين طبقة كاربونية على سطح البوليمر حيث تقوم المادة المعيقة للّهب بإزالة الماء مما يولد أواصر مزدوجة في البوليمر . هذه الأواصر المزدوجة هي التي تكون الطبقة الكاربونية بواسطة الربط التشابكي. مثال على هكذا مواد هي المركبات الفسفورية[٥] .

2.4- تصنيف المواد المعيقة للّهَبْ(Χλασσιφιχατιον Οφ ΦλαμεΡεταρδαντσ).

تصنف المواد المعيقة للّهب إلى ثلاث مجاميع هي:-

2.4.1- المواد المضافة (Αδδιτιωε Ματεριαλσ).

يتم دمج هذه المواد ميكانيكياً مع اللدائن أثناء البلمرة أو قبلها ، وفي أكثر الأحيان تتبع هذه العملية . تستخدم المواد المضافة بشكل خاص مع المواد المطاوعة بالحرارة (Thermoplastic Materials)[٧] .

2.4.2- المواد المتفاعلة (Ρεαχτιωε Ματεριαλσ).

تربط هذه المواد كيمياوياً داخل جزيئة البوليمر سوية مع مركبات التصنيع الأخرى . عملية الربط هذه تحمي معيقات اللّهب من النضوح خارج البوليمر وتطايرها . تستخدم المواد المتفاعلة بشكل خاص مع المواد المتصلدة بالحرارة (Thermosetting Materials)[٦].

2.4.3- المواد المدمجة (Χομβινατιον Ματεριαλσ).

يتم دمج أو مزج المواد المضافة أو المتفاعلة مع بعضها للحصول على تأثير محفز (Synergistic Effect) لإعاقة اللّهب (تحسين إعاقة اللّهب) أو تأثير مضاد(Antagonistic Effect) حيث تقلل من قابلية إعاقة اللّهب في بعض التطبيقات الخاصة. يستخدم هذا الدمج من أجل تقليل الكلفة حيث المواد المحفزة هي أقل كلفة من معيقات اللّهب التي تستخدم وحدها[٧].

2.5- أنواع المواد المعيقة للَّهَبْ Τψπεσ Οφ Φλαμε Ρετ (αρδαντσ) .

تقسم المواد المعيقة للَّهب إلى أربعة أنواع رئيسة :-

2.5.1 – معيقات اللَّهب غير العضوية (Ινοργανιχ Φλαμε Ρεταρδαντσ).

مجموعة قليلة من المركبات غير العضوية تكون صالحة للإستعمال كميعقات للَّهب في المواد اللدائنية ومن أهمها هو أوكسيد الأنتيمون الثلاثي الحاوي على الهالوجين (Antimony Containing Halogen Trioxide) ،هايدروكسيد الألمنيوم(Aluminum Hydroxide) والذي يعمل ضمن مدى حراري(200ºC-180ºC) [6]، وكبريتيدالزنك(Zinc Sulphide) وهايدروكسيد المغنيسيوم (Magnesium Hydroxide) ومداه الحراري(330ºC-300ºC)[٦]، وبورات الزنك (Zinc Borate).

يمكن لبورات الزنك أن تحل محل أكاسيد الأنتيمون كمعيق لهب محفز في اللدائن والمطاط حيث تعمل على زيادة فعالية إعاقة اللهب الأولية بواسطة طرح الجذور الحرة. تكون بورات الزنك على شكل مسحوق أبيض متبلور ومستقرة في الظروف الإعتيادية ، وتمتلك بورات الزنك درجة إنصهار تبلغ (980° C) وكثافة تبلغ($3.64\ g/cm^3$)[٨].

عند تعرض هذا النوع من معيقات اللَّهب إلى الحرارة فإنه لا يتبخر وإنما يتحلل ويحرر غازات غير قابلة للاشتعال مثل بخار الماء وثاني أوكسيد الكاربون وثاني أوكسيد الكبريت وكلوريد الهيدروجين وغيرها من الغازات .

ينتج أكثر هذه المركبات تفاعلات ماصة للحرارة(Endothermic Reactions) . تعتمد آلية عملها على تفككها في درجات الحرارة العالية مما يؤدي إلى تحريرها لغازات غير قابلة للإشتعال تعمل على تخفيف مزيج الغازات القابلة للإشتعال ومن ثم عزل سطح المادة اللدائنية عن الإتصال بالأوكسجين كذلك تكون طبقة زجاجية حامية على الطبقة السفلية للمادة تمنع تأثيرات الأوكسجين والحرارة [٥] . تمثل هذه المجموعة حوالي [50%] من حجم الإنتاج العالمي للمواد المعيقة للَّهب [٤]

2.5.2– معيقات اللَّهب الهالوجينية (Ηαλογενατεδ Φλαμε Ρεταρδαντσ).

تضم هذه المعيقات بشكل خاص عنصري البروم والكلور ويعتمد مبدأ عملها على التداخل الكيمياوي مع ميكانيكية السلسلة الجذرية (Radical Chain Mechanism) والتي تحصل في الحالة الغازية خلال الإحتراق[٥]. تقوم معيقات اللَّهب الهالوجينية بإزالـــــة الهيدروجين (H) والهايدروكسيد (OH) عاليا الطاقة واللذين يتحرران أثناء عملية الإحتراق من خلال الإتحاد معها وكما موضح في المعادلات أدناه :-

$$H^{\cdot} + O_2 \rightarrow OH^{\cdot} + O$$

$$O + H_2 \rightarrow OH^{\cdot} + H^{\cdot}$$

في بداية العملية يتفكك الهالوجين كما مبين في المعادلة :-

$$RX \rightarrow R^{\cdot} + X^{\cdot}$$

حيث أن [X] هو أما كلور أو بروم ثم يتفاعل جذر الهالوجين ليكون هاليدالهايدروجين:-

$$X^{\cdot} + RH \rightarrow R^{\cdot} + HX$$

هاليدالهايدروجين المتكون يتداخل مع ميكانيكية السلسلة الجذرية .

$$HX + H^{\cdot} \rightarrow H_2 + X^{\cdot}$$

$$HX + OH \rightarrow H_2O + X^{\cdot}$$

لذلك يتم تسمم اللّهب بواسطة جذور الهالوجين المتحررة خلال الإحتراق[٦] . ومن خلال التجارب العلمية تم التعرف على الكمية التي يجب أن تضاف من مركبات الهالوجين للحصول على إعاقة لّهب جيدة وهذه القيم هي (٤ %) بالنسبة للبروم و (٢٠ %- ٣٠%) للكلور[2] . تمثل معيقات اللّهب الهالوجينية نسبة(٢٥ %) من الإنتاج العالمي[٤].

2.5.3- معيقات اللّهب الفسفورية (Πηοσπηορυσ Φλαμε Ρεταρδαντσ).

تضم بشكل عام أسترات الفوسفات (phosphate Esters) وأورثوفوسفات الأمونيوم(Ammonium Orthophosphates) وبولي فوسفات الأمونيوم(Ammonium Polyphosphates) والفسفور الأحمر(Red Phosphorus)[٩] .

يتلخص مبدأ عملها في تأكسدها خلال الإحتراق إلى أوكسيد الفسفور الذي يتحول إلى حامض الفسفوريك عند تفاعله مع الماء . يقوم هذا الحامض بتحفيز طرح الماء وإنتزاعه من الطبقة السفلية للمادة المتحللة حرارياً مما يؤدي إلى تفحمها وبالتالي زيادة تكونْ المخلفات الكاربونية وكذلك التقليل من إنبعاث الغازات القابلة للإحتراق[٢] .

تعمل المركبات الفسفورية في الحالة الصلبة ، كما يمكن أن تعمل في الحالة الغازية عند إحتوائها على مركبات هالوجينية . تمثل هذه المجموعة نسبة (20%) من الإنتاج العالمي[٤].

2.5.4- معيقات اللَّهب النايتروجينية (Νιτρογεν Φλαμε Ρεταρδαντσ).

تُعرفْ أيضاً بمعيقات اللَّهب العضوية(Organic Flame Retardants) . الغازات المتحررة من هذه المعيقات تجعل المادة تنتفخ (Swell) مما يؤدي إلى تكوين طبقة سطحية عازلة[١٠] . من أهم مركبات هذه المجموعة هو الميلامين ومشتقاته (Melamine). تستخدم معيقات اللَّهب النايتروجينية لعدد محدد من البوليمرات[١١] .

2.6- المادة الأولية المستخدمة في تحضير أوكسيد الأنتيمون الثلاثي.

المادة المستخدمة في تحضير أوكسيد الأنتيمون الثلاثي هي الأنتيمون الذي يوجد بعدة صيغ وأنواع تآصلية مختلفة من حيث اللون وطرق التصنيع وبعض الخواص الفيزياوية .

2.7- الأنتيــمون. (Αντιμονψ).

لقد عُرفَ الأنتيمون كمعدن في بدايات القرن السابع عشر في حين إن مركباته وأهمها كبريتيد الأنتيمون الثلاثي (Sb_2S_3) والمسمى بـ(ستبنايت) (Stibnite) والذي يعتبر المصدر

الأساسي للحصول على الأنتيمون قد عُرفَ قبل هذا التاريخ بقرون عديدة (حوالي 1600 ق.م) ، حيث أُستعمل في الزينة من قبل نساء الشرق وأيضاً أُستعملَ كمادة للتطبيب[١٢] .

لقد أطلقَ الإغريق إسم سيتيمي (Stimmi) على الستبنايت[١٣] بينما سماه الرومان ستبيوم (Stibium) ، أما مصطلح أنتمونيوم (Antimonium) الذي أُطلقَ بشكل نهائي على المعدن الذي يُستخلص من الخامات الكبريتيدية فيعتقدْ بأنه أُشتقَ من اللغة العربية [12] .إن كلمة أنتيمونيوم تشير إلى الشكل الشبيه بورق الأزهار والذي تظهر عليه بلورات المعدن الموجود طبيعياً [14] .

يتوفر الأنتيمون بكميات صغيرة في القشرة الأرضية بشكل حر ، كذلك يوجد متحداً مع الكبريت مكوناً الستبنايت ، وكذلك يوجد بشكل مركبات مع معدن الزرنيخ والنحاس والرصاص والفضة .

ومن الأمثلة على مركبات الأنتيمون مع بقية المعادن هي : $NiSb$, $NiSbS$, $AgSbS$, Sb_2S_2O , $Ag_2S.Sb_2S_3$, $2PbS.Sb_2S_3$, $4Cu_2S.Sb_2S_3$, $Cu_2S.Sb_2S_3$ [12] .

يقع الأنتيمون في الصف الرابع للمجموعة (15/v) وهي مجموعة النايتروجين في الجدول الدوري بين الزرنيخ والبزموث . يكون الأنتيمون أربع صيغ تأكسدية هي Sb(-3) ، Sb(o) ، Sb(+3) ، و Sb(+5) ويمتلك عدداً ذرياً مقداره (51) [١٤] .

يستخدم الأنتيمون في كثير من الصناعات حيث يدخل في تركيب كثير من السبائك بسبب امتلاكه خاصية التصليد(Hardening) وكذلك إمتلاكه لخاصية التمدد بعد الانجماد التي قادت إلى إستخدامه في الصناعات التي تحتاج إلى دقة متناهية في الأبعاد والشكل ومنها صناعة أحرفْ الطباعة(Type Metals)[١٤] ، كذلك يستخدم في صناعة أشباه الموصلات(Semiconductors) والتي تشمل صناعة الدايودات (diodes)، كاشفات الأشعة تحت الحمراء (Infrared Detectors) ومعدات تأثير هول (Hall-Effect Devices)[١٥] .

يدخل الأنتيمون كذلك في صناعة البطاريات (المشبكات والأقطاب) ، السبائك المقاومة للإحتكاك (Antifriction Alloys) ،الأسلحة الصغيرة والطلقات الكاشفة (Tracer Bullets) ، تغليف الأسلاك (Cable Sheathing) ، كذلك يدخل في صناعة معادن المحامل(Bearing Metals)، والمناضد المنزلية[٤].

بالإضافة إلى إستخدام مركبات الأنتيمون مثل الاوكسيدات والكبريتيدات والانتيمونات والكلوريدات في تصنيع المركبات المقاومة للّهب (Flame-Proofing Compounds) والطلاء (Paints) ودهان المينا السيراميكي (Paints Ceramic Enamels) و الزجاج(Glass) والفخار(Pottery) [16] . يعتبر الأنتيمون والكثير من مركباته سامة لذا يجب توخي الحذر عند التعامل بهذه المادة .

2.8 - تحضير الأنتيمون (Αντιμονψ Πρεπαρατιον) .

كما ذكرنا سابقاً فان الأنتيمون يوجد متحداً مع كثير من العناصر ومن أشهر مركبات الأنتيمون والتي تعتبر المصدر الأساسي للحصول عليه هو الستبنايت ، لذلك يتم اللجوء إلى عدد من الطرق أو العمليات في سبيل إستخلاص أو تحضير الأنتيمون من مركباته . وهناك ثلاث طرق تستخدم لهذا الغرض وهي :-

١- عملية الترسيب (πρεχιπιτατιον προχεσσ) .

تتضمن هذه العملية صهر الستبنايت مع الحديد المستهلك(Scrap Iron) حيث يقوم الحديد بالتفاعل والاتحاد مع الكبريت مكوناً كبريتيد الحديد الذي يطفو فوق منصهر الأنتيمون الحر الناتج من هذه العملية[١٣] ، وفق التفاعل الباعث للحرارة أدناه:-

$$Sb_2S_3 + 3Fe \rightarrow 2Sb + 3FeS \qquad (-298\ KJ/mole)$$

في هذه العملية تستخدم الخامات ذات درجات النقاوة العالية فقط مباشرة في إستخلاص الأنتيمون . بعد ذلك يعاد تسخين الأنتيمون مرتين أو ثلاث مرات مع نترات البوتاسيوم لتنقيته من الشوائب المتبقية مثل الرصاص والكبريت عن طريق تحويل هذه الشوائب إلى أكاسيد .

2 - عملية التحميص الاختزالي (Ροαστ– Ρεδυχτιον Προχεσσ).

يتم خلط كبريتيد الأنتيمون الثلاثي(Sb_2S_3) مع كمية من الهواء لتحويله إلى أوكسيد بعدها يخلط الاوكسيد الناتج مع الفحم لإختزاله مع إجراء عملية التحميص له خلال الإختزال[١٢] وكما موضح بالتفاعلات أدناه : -

$$Sb_2S_3 + 5O_2 \rightarrow Sb_2O_4 + 3SO_2$$

$$Sb_2O_4 + 4C \rightarrow 2Sb + 4CO$$

إن الأوكسيد الناتج من عملية التحميص الاختزالي يعتمد على كمية الأوكسجين المتوفرة حيث إن الكمية الوافرة من الأوكسجين تؤدي إلى تكوين أوكسيد الأنتيمون الرباعي (Sb_2O_4) أما عند إجراء التحميص في كمية محددة من الأوكسجين فإن الناتج يكون أوكسيد الأنتيمون الثلاثي (Sb_2O_3). إن أوكسيد الأنتيمون الثلاثي يكون متطاير في درجات الحرارة العالية على عكس الاوكسيد الرباعي غير المتطاير لذلك يلجأ إلى تكثيفه داخل حجرات خاصة وهذه العملية تُعرفْ بالتحميص المتطاير (volatilizing Roast)[١٣] .

3 - عملية الفصل بالصهر (Λιθυατιον Προχεσσ).

تُطبق هذه العملية على الخامات الفقيرة لكبريتيد الأنتيمون الثلاثي (Sb_2S_3) والتي تحتوي على نسبة عالية من الشوائب . في هذه العملية يتم صهر ركام الكبريتيد (Crude) داخل فرن مائل بزاوية ليسهل جريان منصهر الكبريتيد وبذلك يتم فصله عن الشوائب قليلة الذوبان[١٣] .

بعدها يؤخذ الكبريتيد الناتج من عملية الصهر وتجرى له عملية تحميص إختزالي لإستخلاص الأنتيمون منه . كذلك يمكن إستعمال كاربونات الصوديوم في عملية إستخلاص الأنتيمون من الستبنايت غير المتأكسد وكما موضح في التفاعل:-

$$Sb_2S_3 + 3Na_2CO_3 + 6C \rightarrow 2Sb + 3Na_2S + 9CO$$

2.9 - أنواع الأنتيمون (Τψπεσ οφ Αντιμονψ) .

يشابه الأنتيمون كل من الفسفور والزرنيخ من حيث تواجده بصيغ تآصلية متعددة . يمتلك الأنتيمون أربع أنواع أو أربع صيغ تآصلية مختلفة من حيث الخواص الفيزياوية والكيمياوية وهذه الأنواع هي :-

٢,٩,١- الأنتيمون المعدني (Μεταλλιχ Αντιμονψ) .

ويسمى أيضاً الأنتيمون المتبلور(Crystalline Antimony) أو المعيني (Rhombohedral) وكذلك يسمى أنتيمون كاما(γ- Antimony)[17]. يكون الأنتيمون ذو لون أبيض فضي (Silvery white) ولماع.

يمتلك الأنتيمون المعدني صلادة منخفضة نسبياً حيث يمكن سحقه بكل سهولة وتحويله إلى مسحوق . والشكل رقم (2 - 1-a) يوضح شكل الأنتيمون المعدني . الخواص الفيزياوية الكيمياوية للانتيمون المعدني الصلب موضحة في الجدول رقم (2-1)[١٨] .

الأنتيمون المعدني موصل رديء للحرارة كذلك لا يتأثر بالهواء الجاف ولكنه يتأكسد بشكل بطيء عند تعرضه للهواء الرطب[١٣] . لا يذوب الأنتيمون المعدني في الماء كذلك لا يتأثر بحامض الهيدروكلوريك وحامض الكبريتيك المخففين ولكن عند زيادة تركيزهما فإنهما يتفاعلان معه ويكونان كلوريدات وكبريتات الأنتيمون غير المستقرة وكما موضح في التفاعلات أدناه:-

$$2Sb + 6HCl \rightarrow 2SbCl_3 + 3H_2$$

$$2Sb + 6H_2SO_4 \rightarrow 6H_2O + 3SO_2 + Sb_2(SO_4)_3$$

أما بالنسبة لحامض النتريك المخفف فانه نادراً ما يؤثر على الأنتيمون المعدني ولكنه ربما يُكونْ نترات الأنتيمون غير المستقرة ($Sb(NO_3$ أما حامض النتريك المركز فانه لا يتسبب في ذوبان المعدن ولكنه يؤكسده إلى أوكسيد الأنتيمون الثلاثي (Sb_2O_3) أو الخماسي (Sb_2O_5) أو خليطاً من كليهما .

يحترق الأنتيمون المعدني في الهواء أو الأوكسجين بلهب لماع مائل للزرقة(Bright Bluish) مكوناً أوكسيد الأنتيمون الثلاثي(Antimony Trioxide) ، كذلك يتحد مباشرة مع الهالوجينات ويتحد مع الكلور مكوناً ثالث كلوريد الأنتيمون(Antimony Trichloride) ($SbCl_3$).

الجدول رقم(١-٢)

الخواص الفيزياوية و الكيمياوية للأنتيمون المعدني الصلب[١٨]

Property	Value
Thermal Conductivity(W/m.ºC)	24.3
Melting Point(ºC)	630.5
Boiling Point(ºC)	1587
Density(at 25ºC) (g/cm^3)	6.684
Atomic Weight	121.75
Specific Heat(J/g.K)	0.21
Heat of Fusion(KJ/mol)	20.9
Heat of Vaporization(KJ/mol)	165.8
Electrical Resistivity(at 20ºC)(μΩ.cm)	39
Vapor Pressure(at 886ºC)(mmHg)	1

٢ -2.9. الأنتيمون الأسود (Βλαχκ Αντιμονψ) .

ويُعرَفْ أيضاً بأنتيمون بيتا(β- Antimony)، يتكون هذا النوع من الأنتيمون عند إمرار الأوكسجين أو الهواء في هايدريد الأنتيمون السائل (Liquid Antimony Hydride) عند درجة حرارة (80ºC -)[١٩] . وأيضاً يمكن الحصول عليه في حالة نقية عن طريق التبريد السريع لبخار الأنتيمون ، ويمكن الحصول عليه أيضاً عن طريق تعريض الأنتيمون الأصفر إلى الضوء .

لا يُعرفْ على وجه الدقة فيما إذا كان الأنتيمون الأسود هو طور ثابت للأنتيمون أو إنه طور وسطي (Intermediate Phase) بين الأنتيمون المعدني و الأنتيمون الأصفر[١٣] . الشكل رقم (2-1-b) يوضح شكل الأنتيمون الأسود .

الأنتيمون الأسود هو شكل غير متبلور(Amorphouse) ويكون مستقراً في الظروف الإعتيادية، ويمتلك كثافة مقدارها ($5.39\ g/cm^3$) أي أقل من كثافة الأنتيمون المعدني .

-2.9.٣ الأنتيمون الأصفر (Ψελλοω Αντιμονψ) .

ويسمى أيضاً أنتيمون آلفا (α - Antimony) يمتلك الأنتيمون الأصفرتركيباً مكعباً (Cubic)، يكون هذا النوع من الأنتيمون شبه مستقر في الظروف الإعتيادية حيث يتحول إلى النوع الأسود عند تعرضه للضوء عند درجة حرارة(180ºC-) وعند درجة حرارة(90ºC-) في الظلام [١٧] .

ينتج الأنتيمون الأصفر من معاملة هايدريد الأنتيمون(Stibine) (SbH_3) مع الهواء عند درجة حرارة(90ºC-) وكما موضح في التفاعل:-

$$4SbH_3 + 3O_2 \rightarrow 4Sb + 6H_2O$$

2.9.4- الأنتيمون المتفجر (Εξπλοσιωε Αντιμονψ) .

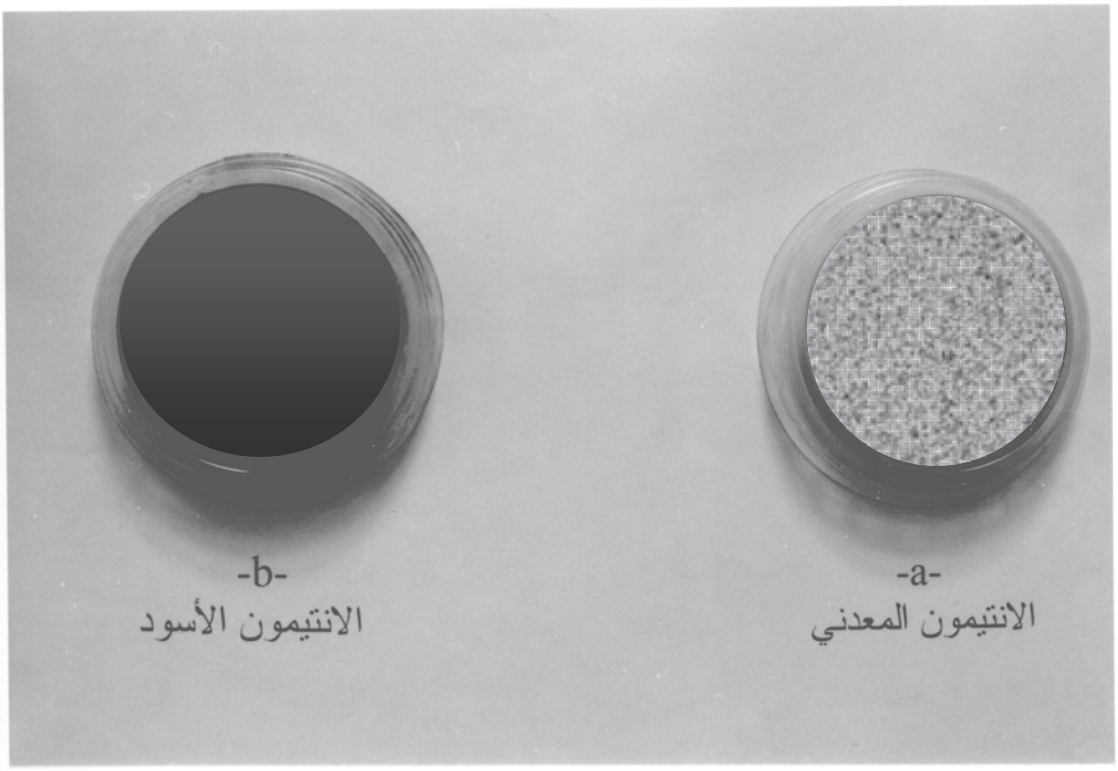
ينتج هذا النوع من الأنتيمون من خلال الترسيب الكاثودي (Deposited Cathodically) لهاليد الأنتيمون الثلاثي(كلوريد أو يوديد) الموضوع في حامض الهيدروكلوريك وإستخدام آنود من الأنتيمون وقطب كاثودي مكون من البلاتين ، حيث يترسب مسحوق غير متبلور على البلاتين هو الأنتيمون المتفجر[١٢].

يمتلك الأنتيمون المتفجر وزناً نوعياً مقداره ($5.78\ g/cm^3$) . إذا حصل أي إحتكاك بين الأنتيمون المتفجر و أي جسم صلب أو يتم تسخينه بسرعة إلى (200^oC) فسوف يتحول إلى الأنتيمون المعدني المستقر، مع تولد شرارات و إنبعاث حرارة عالية وتحرر سحابات من ثالث كلوريد الأنتيمون في نفس وقت التحول أو الانفجار . يكون الأنتيمون المتفجر مستقراً تحت الماء البارد[١٩]. الجدول رقم(٢-٢) يمثل مقارنة بين أنواع الأنتيمون الأربعة.

الجدول رقم(٢-٢)

مقارنة بين أنواع الأنتيمون الأربعة[١٣،١٩].

Antimony	Structure	State Under Normal Conditions	Production
Metallic	Crystalline	Stable	Natural
Black	Amorphouse	stable	Antimony Hydride(-80ºC)
Yellow	Crystalline	Metastable	Antimony Hydride(-90ºC)
Explosive	Amorphouse	Unstable	Deposited Cathodically



الشكل رقم(١-٢)

أنواع الأنتيمون

a-الأنتيمون المعدني b- الأنتيمون الأسود.

2.10- أكاسيد الأنتيمون (Αντιμονψ οξιδεσ).

يُكونْ الأنتيمون ثلاثة أكاسيد رئيسة ، ومن أهم هذه الاكاسيد هو أوكسيد الأنتيمون الثلاثي حيث يستخدم كمادة معيقة للّهب . وهذه الأكاسيد هي :-

2.10.1 - أوكسيد الأنتيمون الثلاثي (Αντιμονψ Τριοξιδε).

يمتلك الصيغة الكيمياوية (Sb_2O_3) أو (Sb_4O_6) . يكون ذا لون أبيض أو عديم اللون إعتماداً على تركيبه الداخلي ، حيث يكون التركيب المكعب (Cubic) عديم اللون (Senarmontite) ، بينما يكون التركيب المعيني (Orthorhombic) ذا لون أبيض (Valetinite) [20] .

يكون أُوكسيد الأنتيمون الثلاثي المكعب مستقراً تحت درجة حرارة (570^oC) ، في حين إن أُوكسيد الأنتيمون الثلاثي المعيني يكون مستقراً فوق درجة حرارة (570^oC)[١٩] . يذوب الاوكسيد الثلاثي بشكل طفيف جداً في الماء ، ويذوب في هايدروكسيد البوتاسيوم وحامض الهيدروكلويك المخفف

وحامض النتريك والكبريتيك المركزين ويذوب في كثير من الأحماض العضوية مثل حامض التاريك Acid) (Tartaric إضافة إلى كونه قابلاً للذوبان في القواعد مكوناً الانتيمونات[٢١] .

إن تفاعل أوكسيد الأنتيمون الثلاثي مع حامض النتريك المركز البارد يعطي نترات الأنتيمون $Sb(NO_3)_2$ ويتفاعل مع حامض الكبريتيك المركز الساخن ليعطي كبريتات الأنتيمون $Sb_2(SO_4)_3$ والشكل رقم (2-2) يبين التركيب الكيمياوي لأوكسيد الأنتيمون الثلاثي (Sb_2O_3) والجدول رقم (٣-٢) يبين بعض خواص أوكسيد الأنتيمون الثلاثي .

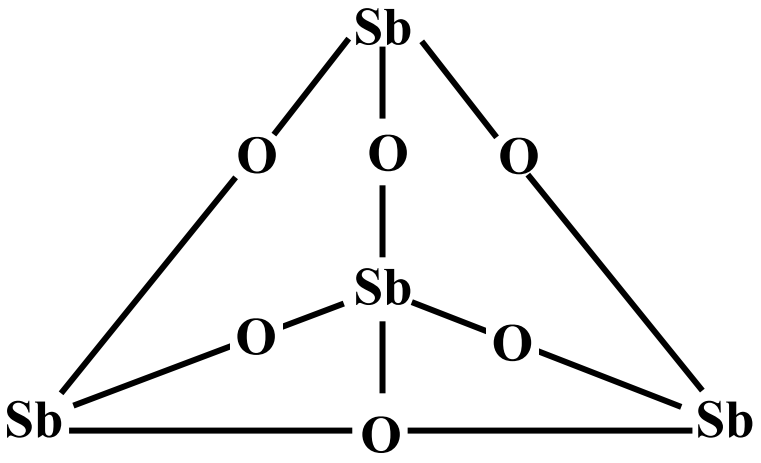
يُستخدم أوكسيد الأنتيمون الثلاثي في كثير من الصناعات وأهم هذه الصناعات هو إستخدامه كمحفز لإعاقة أللهب في اللدائن(Flame Retardant Synergist) والأنسجة(Textile) ،والمطاط (Rubber) ، والألياف(Fibers) ، وإستعماله في المواد اللاصقة(Adhesives)[٤] .

كذلك يستعمل في الأصباغ (Pigments)، والدهان (Paints) ،والمينا (Enamel) ،والمواد المانعة للتسرب (Sealants) ،وكمثبت للدائن(Stabilizers)[٢١] إضافة إلى إستعماله بشكل واسع كعامل ربط دقيق في الزجاج ويستعمل مع الطلاء المحتوي على أوكسيد التيتانيوم (TiO_2) وصناعة السيراميك(Ceramic) وكثير من الصناعات الأخرى.الشكل رقم(٣-٢) يوضح شكل أوكسيد الأنتيمون الثلاثي.

الجدول رقم(٣-٢)

خواص أوكسيد الأنتيمون الثلاثي(Sb_2O_3)[18]

Property	Value
Melting Point(ºC)	656
Boiling Point(ºC)	1425
Density(g/cm^3)	5.2(Cubic) 5.67(Rhombohedral)



الشكل رقم(٢-٢)

التركيب الكيمياوي لأوكسيد الأنتيمون الثلاثي(Sb_2O_3)[18]

الشكل رقم(٣-٢)
أوكسيد الأنتيمون الثلاثي

2.10.1.1 - مزايا ومحددات أوكسيد الأنتيمون الثلاثي(Αδϖανταγεσ & Λιμιτατιονσ οφ Αντιμονψ Τριοξιδε).

كما ذكرنا سابقاً فان أحد أهم إستعمالات أوكسيد الأنتيمون الثلاثي هو إستعماله كمادة معيقة للّهب لذلك يضاف إلى المركبات الهالوجينية فيعمل على زيادة كفاءتها في إعاقة اللّهب وبذلك يقلل من كميات إضافة هذه المركبات ، إذ أن عدم وجود أوكسيد الأنتيمون الثلاثي في المركبات الهالوجينية يتطلب إضافة كمية مقدارها مرتين من المركب الهالوجيني للحصول على منتج معيق للّهب ذو كفاءة تماثل كفاءته في حال وجود الاوكسيد الثلاثي وبهذا فإن أوكسيد الأنتيمون الثلاثي يعمل على خفض الكلفة أولاً وثانياً يساعد على تحسين الخواص الفيزياوية[٤] .

إن إضافة أوكسيد الأنتيمون الثلاثي يساعد على إستنباط خواص جديدة غير متوفرة في المنتجات أو يكون من الصعب الحصول عليها بدون إضافته ومن هذه الخواص تعديل الاحتكاك (Friction Modification) وتثبيت لمعان الأصباغ غير العضوية(Light Stability) ، ثابت النفاذية للطلاء بالميناء في درجات الحرارة العالية (Stable Opacifiers) [21] .

من محددات أوكسيد الأنتيمون الثلاثي هو كونه مادة متطايرة لذا يُلجأ إلى إستخدام طرق تصنيع تعمل على تجميعه بعد عملية التطايرفي درجات الحرارة العالية تختلف عن طرق تصنيع الاكاسيد الأخرى غير المتطايرة. كذلك كون الاوكسيد الثلاثي مادة سامة (جميع أكاسيد الأنتيمون سامة) عند إستنشاقه أو إبتلاعه لذلك يُوصي منتجو هذه المادة بتصنيع وبيع الاوكسيد بشكل رطب(Dampe) أو مبلل(Wet) ، أو أصناف لاصقة (على شكل عجينة) (Paste) ، كذلك إستخدام أصناف حبيبية(Granular) هذه الأصناف تقلل من أخطار الغبار الناتج من تصنيعه[21] .

2.10.1.2 - طرق تصنيع أوكسيد الأنتيمون الثلاثي (Μανυφαχτυρινγ Μετηοδσ οφ Αντιμονψ Τριοξιδε).

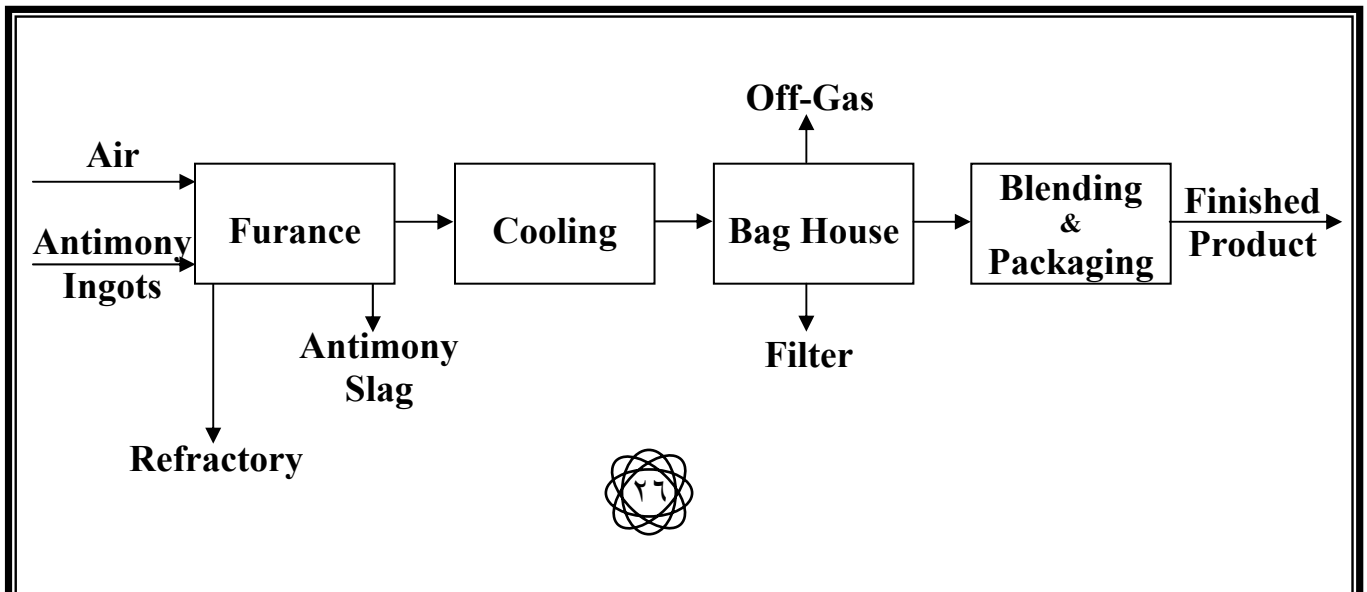
تُقسم طرقْ تصنيع أوكسيد الأنتيمون الثلاثي إلى خمسة طرقْ إعتماداً على نوعية المادة الأولية المستخدمة وهذه الطرق هي :-

1- الطريقة غير المباشرة (Ινδιρεχτ Μετηοδ).

يتم في هذه الطريقة حرق الأنتيمون داخل فرن درجة حرارته (600ºC-800ºC) منتجاً بخار أوكسيد الأنتيمون الذي يُخمدْ في الهواء بعدها يتم تبريده . يتسامى أوكسيد الأنتيمون الثلاثي مباشرة من البخار إلى مسحوق أبيض صلب يتم إعادته وتجميعه بواسطة مرشحات بيت الحقيبة (Bag House)[٢٢] . الشكل رقم (2-4) يوضح خطوات هذه الطريقة .

2- الطريقة المباشرة (Διρεχτ Μετηοδ).

يُحمصْ ركام أوكسيد الأنتيمون ذو درجات النقاوة الأقل بوجود الهواء لإنتاج بخار الاوكسيد بعد ذلك يتم تكثيف البخار لتكوين مسحوق أبيض منه يتم إستعادته بواسطة مرشح بيت الحقيبة والشكل رقم (2-5) يوضح خطوات هذه الطريقة [٢٢].



3- تسخين كبريتيد الأنتيمون الثلاثي في الهواء (Ηεατινγ οφ Αντιμονψ Συλπηιδε ιν Αιρ)

تدعى هذه الطريقة بالتحميص الإختزالي (Roast – Reduction Process)[٢٣] حيث يتم حرق كبريتيد الأنتيمون الثلاثي (الستبنايت)(Sb_2S_3) في كمية محدودة من الهواء لتحويله إلى أوكسيد الأنتيمون الثلاثي وحسب التفاعل التالي:-

$$Sb_2S_3 + \frac{9}{2}O_2 \rightarrow Sb_2O_3 + 3SO_2$$

٤- تسخين كلوريد الأنتيمون الثلاثي مع الماء (Ηεατινγ οφ Αντιμονψ Τριχηλοριδε ωιτη Ωατερ) .

في هذه الطريقة يتم تحليل (Hydrolyzing) كلوريد الأنتيمون الثلاثي بواسطة تسخينه مع الماء[١٩] وكما موضح في التفاعل أدناه:

$$2SbCl_3 + 3H_2O \rightarrow Sb_2O_3 + 6HCl$$

بعدها يُغسل الاوكسيد مع كاربونات الصوديوم لإزالة حامض الهيدروكلوريك ثم يُغسل بالماء.

٥- تحلل المركب ($Sb_4O_5Cl_2$) (Δεχομποσιτιον οφ $\Sigma\beta_4O_5X\lambda_2$) .

يتم تسخين المركب ($Sb_4O_5Cl_2$) والمسمى أوكسي كلوريد الأنتيمون مع محلول كاربونات الصوديوم[١٩]، وكما موضح في التفاعل:

$$Sb_4O_5Cl_2 + Na_2CO_3 \rightarrow 2Sb_2O_3 + 2NaCL + CO_2$$

2.10.2- أوكسيد الأنتيمون الخماسي (Αντιμονψ Πεντοξιδε) .

يتكون أوكسيد الأنتيمون الخماسي وصيغته الكيمياوية (Sb_2O_5) من تسخين حامض الأنتيمون (H_3Sbo_4) إلى درجة حرارة (300ºC) أو بواسطة تفاعل الأنتيمون مع حامض النتريك المركز[١٧] ، أو تفاعل أوكسيد الأنتيمون الثلاثي (Sb_2O_3) مع حامض النتريك بعدها يُسخن هذا الخليط إلى درجة حرارة تحت (440ºC)لأنه عند هذه الدرجة سوف يتكون أوكسيد الأنتيمون الرباعي .

أوكسيد الأنتيمون الخماسي مسحوق صلب لونه أصفر درجة إنصهاره (380ºC) ويكون ضئيل الذوبان في الماء في حامض الهيدروكلوريك المركز والمحلول الناتج يمتلك خواص مؤكسدة تبلغ كثافة أوكسيد الأنتيمون الخماسي ($3.8\ g/cm^3$).

2.10.3- أوكسيد الأنتيمون الرباعي (Αντιμονψ Τετροξιδε).

صيغته الكيمياوية (Sb_2O_4) ينتج من تسخين أوكسيد الأنتيمون الثلاثي أو الخماسي أو الأنتيمون أو الستبنايت إلى درجة حرارة (900ºC-800ºC)[١٩] . يكون أوكسيد الأنتيمون الرباعي أبيض اللون ولا يذوب في الماء وهو ذو كثافة ($6.59\ g/cm^3$) . يفقد أوكسيد الأنتيمون الرباعي الأوكسجين عند تسخينه بشدة(حوالي 1060ºC) متحولاً إلى أوكسيد الأنتيمون الثلاثي (Sb_2O_3). أوكسيد الأنتيمون الرباعي هو أوكسيد مزدوج متكون من أوكسيد الأنتيمون الثلاثي و أوكسيد الأنتيمون الخماسي[١٩]. عند درجة حرارة(900ºC) يكون تركيب أوكسيد الأنتيمون الرباعي متضمناً شبكة من أوكسيد الأنتيمون الثلاثي وأوكسيد الأنتيمون الخماسي المنصهرين(Fused) . الجدول رقم(٤-٢) يمثل مقارنة بين أكاسيد الأنتيمون.

الجدول رقم(٤-٢)
مقارنة بين أكاسيد الأنتيمون[١٩،٢٠].

Property &Characteristic	Antimony Oxides		
	Trioxide	Tetroxide	Pentoxide
Symbol	Sb_2O_3	Sb_2O_4	Sb_2O_5
Formation Temperature(ºC)	600-800	800-900	300
Density(g/cm^3)	5.2,5.67	٦,٥٩	٣,٨
Melting Point(ºC)	656	1060(break)	380
Color	White	White	Yellow

2.11 - المواد المركبة (Χομποσιτε Ματεριαλσ).

عُرفتْ تقنية تصنيع المواد المركبة بأبسط صورها منذ قرون عدة حيث إستخدمها البابليون في بناء بيوتهم عن طريق خلط نشارة الخشب بمادة الطين لتقويته[٢٤] . تتكون المادة المركبة من جمع مادتين مختلفتي الخواص الميكانيكية والفيزياوية والغرض من هذا الجمع هو إستنباط خواص جديدة لم تكن متوفرة في المواد الأصلية.

يوجد في الطبيعة الكثير من الأمثلة على المواد المركبة ومنها ألياف السليلوز مع مادة الخشب . أما في الصناعة فإن تقوية الراتنجات بالألياف الصناعية هي الأكثر إنتشاراً. و لتصنيع مادة مركبة يجب توفر مادتين هما :-

2.11.١- مادة الأساس (Ματριξ Ματεριαλ).

تكون مواد الأساس أما مواد معدنية(Metallic Materials) متكونة من المعادن وسبائكها وتتميز بثقل وزنها ومتانتها العالية ،أو قد تكون مواد سيراميكية(Ceramic Materials)

والتي تمتاز بخفة وزنها ومقاومتها المرتفعة لدرجات الحرارة العالية ولكنها ضعيفة المقاومة لقوى الصدم. كذلك تكون المادة الأساس مواد بوليميرية(Polymeric Materials) وهي الأكثر إستعمالاً وإنتشاراً لِما تتميز به من خواص ميكانيكية وحرارية جيدة[٢٤]. ومن الأمثلة على المواد البوليمريةهو راتنج البولي أستر (Polyester Resin).

يعتبر راتنج البولي أستر أحد أنواع الراتنجات المتصلبة بالحرارة(Thermosetting Resins) ويتم تحضيره من تفاعل مونومير الجليكول(Glycol Monomer) مع حامض غير مشبع ثنائي القاعدة (Dibasic Acid) ويشترط أن يمتلك أحد المونوميرين أو كليهما على رابطة مضاعفة في تركيبه،وبعد تكون البوليمر الخطي يمزج مع مونومير فنيل فعال مثل الستايرين(Styrene) بالإضافة إلى عامل مساعد يتكسر إلى جذور حرة وبهذا تتم بلمرة مونومير الفنيل مع الروابط المزدوجة على طول سلسلة البوليمر وبذلك يتكون البولي أستر[٢٥].

يمتلك راتنج البولي أستر خواص حرارية جيدة إذ يتحمل الحرارة العالية(بالنسبة للراتنجات) و لغاية(260ºC) ولكنه يعاني تفككاً تلقائياً((Spontaneous Decomposition) عند درجة حرارة تقارب(300ºC) حتى بعدم وجود الأوكسجين[١٠] . وكذلك يمتاز راتنج البولي أستر بمقاومة كهربائية ممتازة ومقاومة كيمياوية للمذيبات والأحماض والأملاح ومقاوم للبلى والتأثيرات البيئية ،بالإضافة لكونه قليل الكلفة ولكنه يتصف بالضعف والهشاشية. ويضاف البولي أستر إلى الألياف الزجاجية لصناعة هياكل القوالب ومكونات أجسام الطائرات والسيارات وغيرها من الصناعات . والجدول رقم (٥-٢) يبين خواص راتنج البولي أستر العامة.

2.11.2- التقوية مادة (Ρεινφορχινγ Ματεριαλ) .

يجب توفر ميزتين أساسيتين في هكذا مواد وهي المقاومة العالية والمطيلية المنخفضة حتى تستطيع تقوية المواد الأساس . هناك عدة طرق للتقوية منها التقوية بالدقائق(Reinforcing by Particulate) والتي تكون بقطر أكبر من (1 µm) وبأشكال مختلفة منها الإبرية والكروية والقِشرية ، كذلك تتم التقوية بالتشتت(Reinforcing by Dispersed) ويكون قطر الدقائق أقل من (0.1µm) .

أما أكثر أساليب التقوية شيوعاً فهي التقوية بالألياف(Reinforcing by Fibers) نظراً لِما تتميز به من قوة كبيرة مقارنة بالمواد الراتنجية ، وتكون الألياف بأنواع وأشكال مختلفـــــة فمنها ما يكون بشكل مستمر أو مقَطعْ أو بشكل ظفائر محاكة .

الجدول رقم(٥-٢)

خواص راتنج البولي أستر[26]

Mechanical Properties			
Property	**Value**	**Conditions**	
		State	**ASTM**
Flexural Modulus(Mpa)	1449-1932	23C°	D790
Tensile Strength(Mpa)	34-43	At break	D638
Flexural strength(Mpa)at yield or break	49-60	-	D790
Elongation at Break(%)	150-300	-	D638
Hardness	101-115	Rockwell	D638
Izod Impact(J/cm of notch) 1/8" tkickspecimen unless notch	No break	-	D256A
Thermal Properties			
Property	**Value**	**Conditions**	
		Pressure	**ASTM**
Coef ecient of Thermal Expansion(10^{-6}/ºC)	20 82-127	- 0.46Mpa	D696 D648
Deflection Temperature(ºC)	14-52	1.82 Mpa	D648
Thermal Conductivity(W/m.ºC)	٠,٢٨٨	-	C177
Physical & Electrical Properties			
Property	**Value**	**Conditions**	
		State	**ASTM**

Specific Gravity	1.23-1.25	-	D792
Water Absorption(%)	0.1	After 24 hrs	D570

2.12- إختبار التعرية الحرارية (Τηερμαλ Εροσιον Τεστ) .

ويسمى أيضاً بإختبار الشعلة الحرارية (Torch Test) ،يستخدم هذا الإختبار للعوازل الحرارية التي تتحمل درجات حرارية عالية تتجاوز (3000ºC) إذ يتعذر الحصول على هكذا درجات حرارية عن طريق أجهزة قياس الموصلية الحرارية الاعتيادية لذلك تستخدم أنواع مختلفة من الشعلة الحرارية لتوليد درجات حرارية مختلفة . الجدول رقم(٦-٢) يوضح مدى درجات حرارة الشعلة الحرارية المتولدة من عدد من الغازات والشكل رقم (٦-٢) يبين كيفية إجراء إختبار الشعلة الحرارية.

في هذا الإختبار يكون من الصعوبة حساب معامل الموصلية الحرارية لذلك يلجأ إلى طرق أخرى لحساب مدى العزل الحراري في درجات الحرارة العالية وهناك طريقتان لحساب قدرة المادة على مقاومة حرارة اللهب العالية ومقدار عزلها الحراري وهاتان الطريقتان هما:

1- حساب درجة حرارة السطح (Συρφαχε Τεμπερατυρε) .

في هذه الطريقة ،يتم وضع محرار إليكتروني على السطح الواقع خلف الشعلة لمعرفة مقدار الحرارة المنتقلة خلال المادة العازلة[27]. والشكل رقم (2-7-a) يبين رسما توضيحيا لهذه الطريقة.

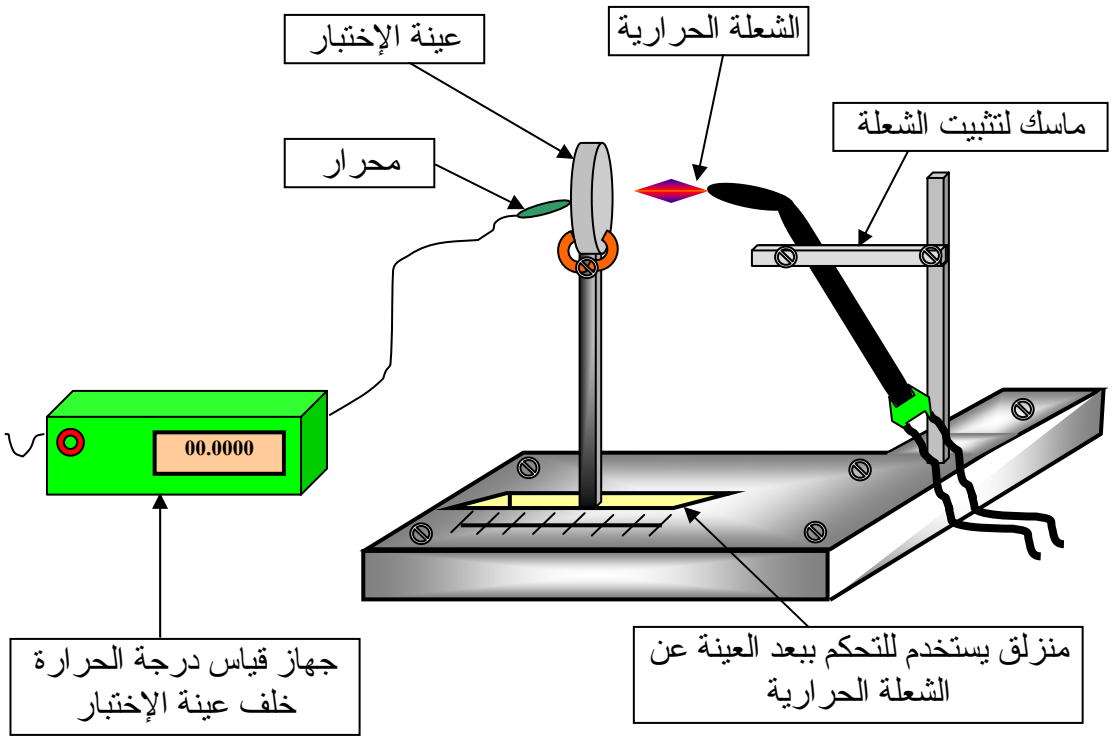
٢- حساب عمق الضرر (Δεπτη οφ Δαμαγε) .

بعد تسليط الشعلة الحرارية لفترة زمنية معينة يقاس عمق الضرر في المادة العازلة (مدى اختراق الشعلة للمادة)[28] . والشكل الرقم (2-7-b) يبين رسما توضيحيا لهذه الطريقة.

الجدول رقم(٦-٢)

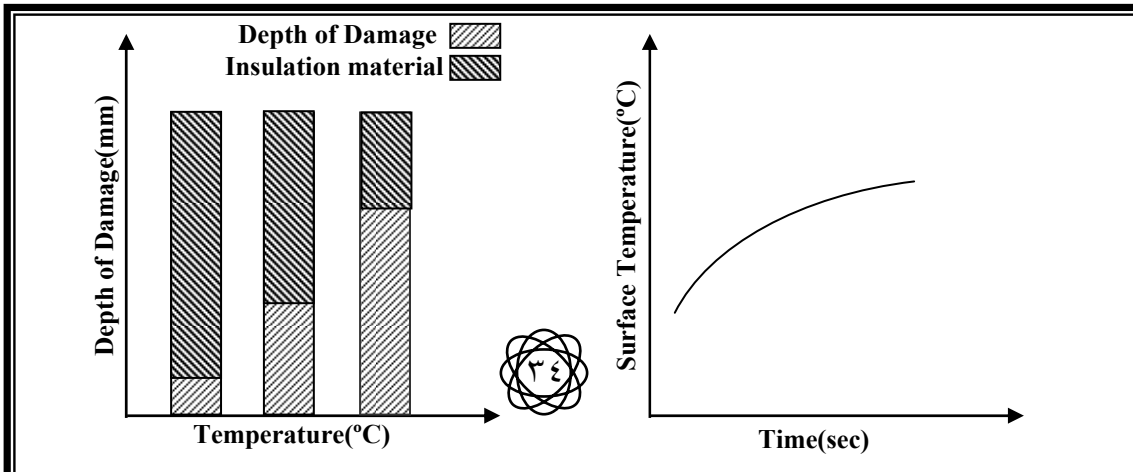
درجات حرارة الشعلة المتولدة من عدد من الغازات[29].

Gas	Symbol	Temperature,°C
Oxyacetylene	C_2H_2	3000-3250
OxyHydrogen	H_2	2182
Butane-Propane	C_3H_8-C_4H_{10}	٢٠٠٠



الشكل رقم(٦-٢)

إختبار التعرية الحرارية[28]



2.13- المُوصِلية الحرارية (Τηερμαλ Χονδυχτιωιτψ) .

عند وجود فرق حراري بين سطحين سوف تنتقل الحرارة من السطح ذو درجة الحرارة الأعلى إلى السطح ذو درجة الحرارة الواطئة ، وتُعرف هذه الظاهرة بالمُوصِلية الحرارية . وعلى هذا الأساس يمكن تعريف المُوصِلية الحرارية على إنها معدل إنسياب الحرارة عبر وحدة المساحة خلال وحدة الزمن عند وجود إنحدار حراري بين سطحين مقداره درجة مئوية واحدة[٣٠] .

تختلف آلية التوصيل الحراري بإختلاف حالات المادة (صلبة ، سائلة ، غازية) والذي من خلاله تصنف المادة على إنها عازلة أم موصلة للحرارة . تعتمد الموصلية الحرارية في المواد المعدنية على إنتقال الإلكترونات الحرة ، أما في المواد المركبة فيعتمد التوصيل الحراري على توجيه الألياف (Fibers Orientation) حيث تبدي المواد المركبة موصلية قوية باتجاه الألياف(In-Plane) وموصِلية أضعف بإتجاه السُمكْ(Through the Thickness) [31] .

أما في المواد البوليميرية فتعتمد المُوصِلية الحرارية على توجيه الجزيئات (Molecular Orientation) ، الحجم البلوري(Crystalline Size) ودرجة النقاوة(Purity Degree)[٢٤] . الشكل رقم (8-2) يوضح مدى الموصلية الحرارية لعدد من المواد عند ضغط ودرجة حرارة اعتياديين .

يمكن استخدام قانون فورير (Fourier Law) في حساب معامل الموصلية الحرارية (k) وينص هذا القانون على :-

$$q = -k * A * \left(\frac{\Delta T}{\Delta X} \right).$$

حيث :-

q = كمية الحرارة المارة بوحدة الزمن وتقاس بوحدات (W)

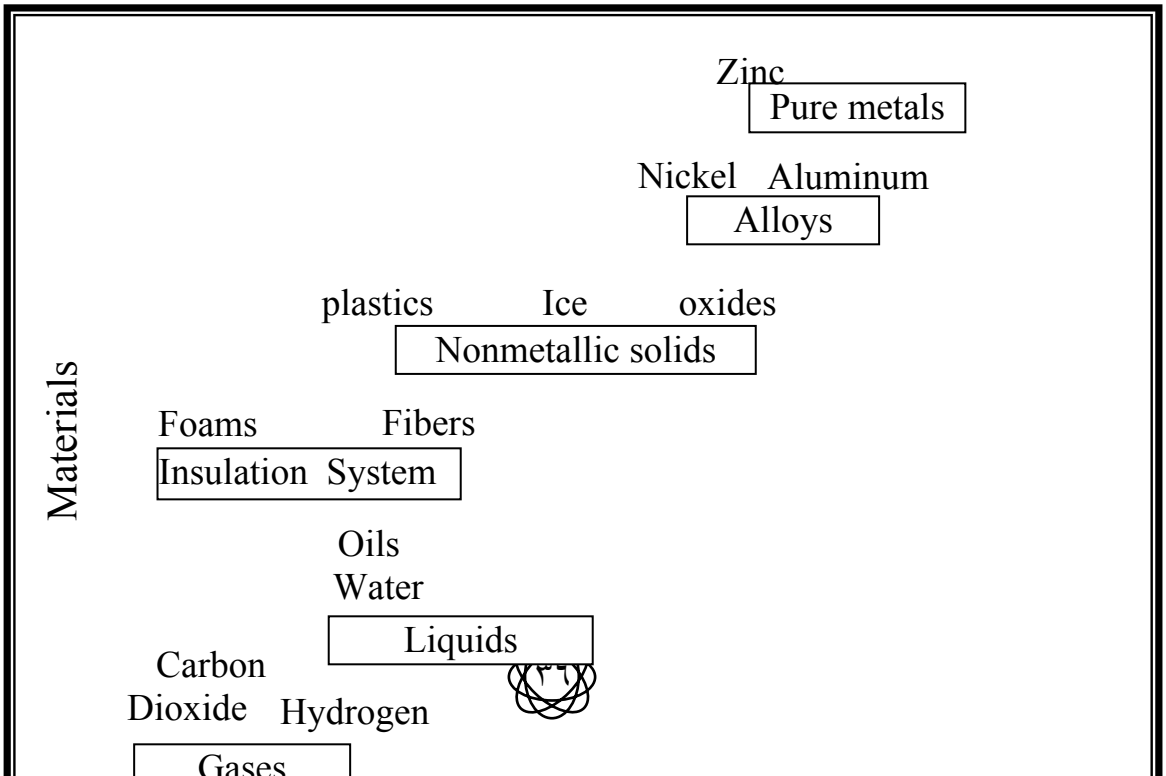
k = معامل الموصلية الحرارية ويقاس بوحدات (W/m.ºC)

A = مساحة مقطع انسياب الحرارة وتقاس بالمتر المربع (m^2)

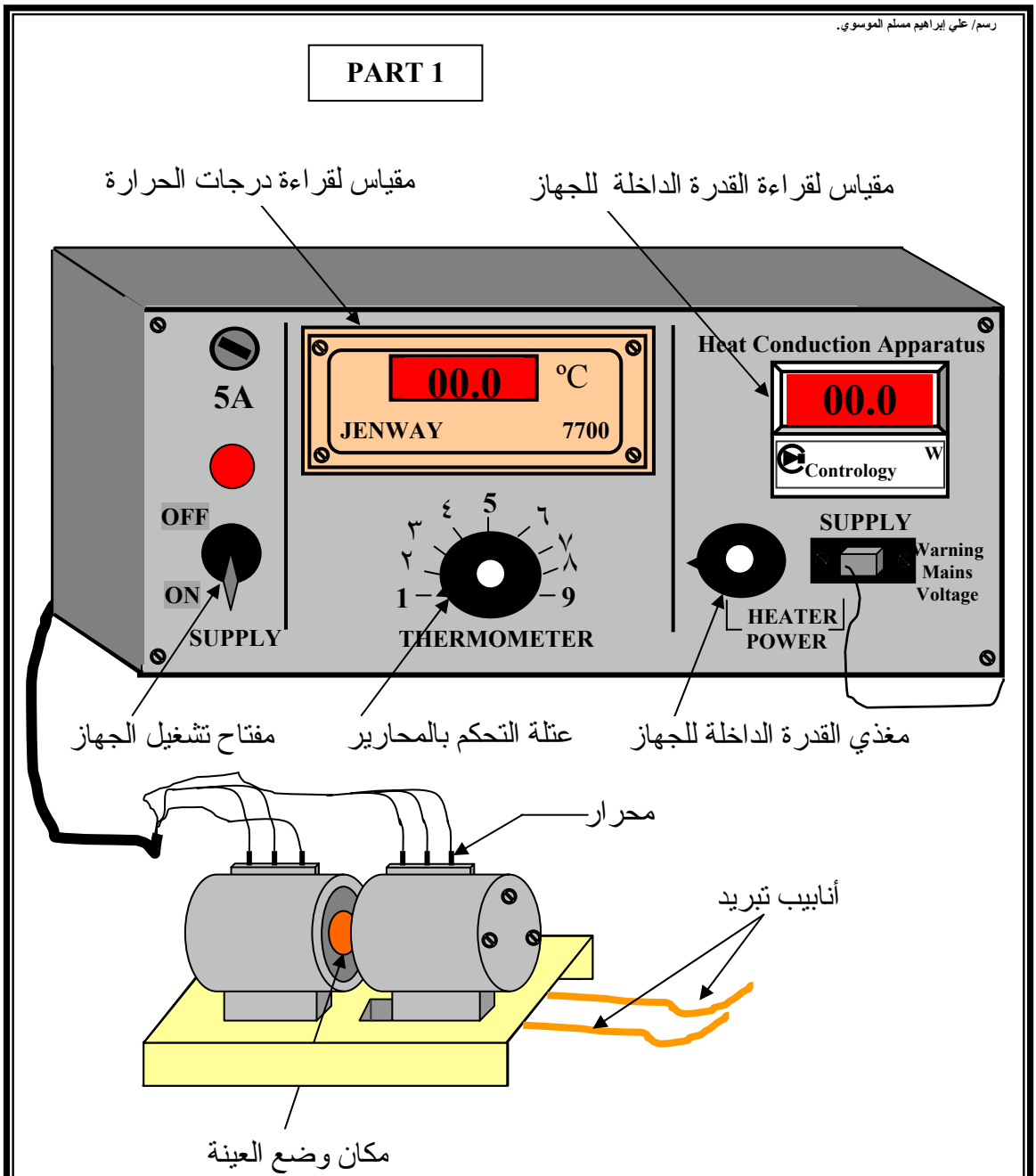
$\left(\Delta T/\Delta X\right)$ = التدرج الحراري نسبة للمسافة ويقاس بوحدات (ºC/m)

الشكل رقم (2-9) يوضح جهاز قياس المُوصِلية الحرارية (Heat Conduction Unit) والمصنع من قبل شركة (P.A.Hilton Ltd England). يعتمد مبدأ عمل هذا الجهاز على تسليط قدرة كهربائية لتسخين العينة الموجودة داخل الجهاز وهي عينة قرصية الشكل . بعد ذلك تقوم محار ير إلكترونية موزعة على جانبي العينة وكل محرار يبعد عن الآخر بمسافة (10mm) تقوم بقياس التغير في درجات الحرارة على جانبي العينة .

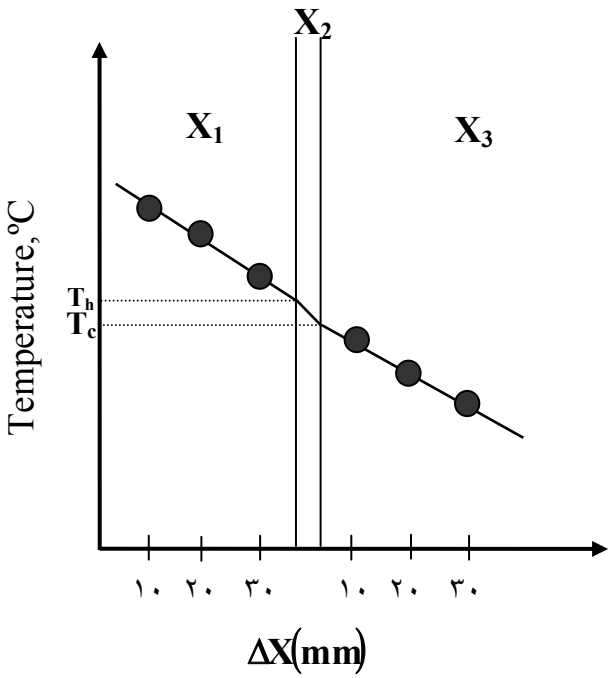
ومن خلال درجات الحرارة التي يسجلها جهاز قياس الموصلية الحرارية يمكن رسم المنحني المبين في الشكل رقم (2-10) والذي يبين كيفية حساب قيمة التدرج الحراري$\left(\Delta T/\Delta X\right)$الذي يطبق في معادلة فورير . حيث تمثل **(X3،X1)** المسافة بين المحارير على جانبي العينة،أما**(X2**) فتمثل سمك العينة .



Thermal Conductivity,*k*(W/m.K)



الشكل رقم(٩-٢)
جهاز قياس الموصلية الحرارية



الشكل رقم(١٠-٢)
حساب قيمة التدرج الحراري $(\Delta T/\Delta X)$.

2.14- السعة الحرارية (
Heat Capacity).

تحتاج المواد الهندسية بإختلاف أنواعها وحالاتها إلى كميات مختلفة من الطاقة الحرارية لرفع درجة حرارتها خلال فترة زمنية معينة، وتدعى الخاصية التي تعتبر مقياساً لمقدار إمتصاص المادة للحرارة بالسعة الحرارية(Heat Capacity) ويرمز لها بالرمز (C)[٣٣]، وتختلف السعة الحرارية وحسب حالة المادة سواء كانت مادة صلبة أو على شكل مسحوق .

يمكن تعريف السعة الحرارية لأي نظام بأنها كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة ذلك النظام درجة حرارية واحدة أي إن :

$$C = \frac{\delta q}{dT}$$

حيث إن:-

C= السعة الحرارية(J/ºC).

q= كمية الحرارة المارة بوحدة الزمن (w).

dT= الفرق في درجة الحرارة(ºC).

إن السعة الحرارية لأي نظام يمتلك كتلة مقدارها(m) هي:-

$$C = m * c$$

إذ إن(**c**) هي الحرارة النوعية والتي تعرف بأنها كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة غرام واحد من المادة درجة حرارية واحدة .

يمكن استخدام القانون الفيزياوي أدناه لحساب قيمة السعة الحرارية:-

$$q = C * m * \left(\frac{\Delta T}{\Delta t}\right)$$

حيث إن

q= القدرة المسلطة(W) .

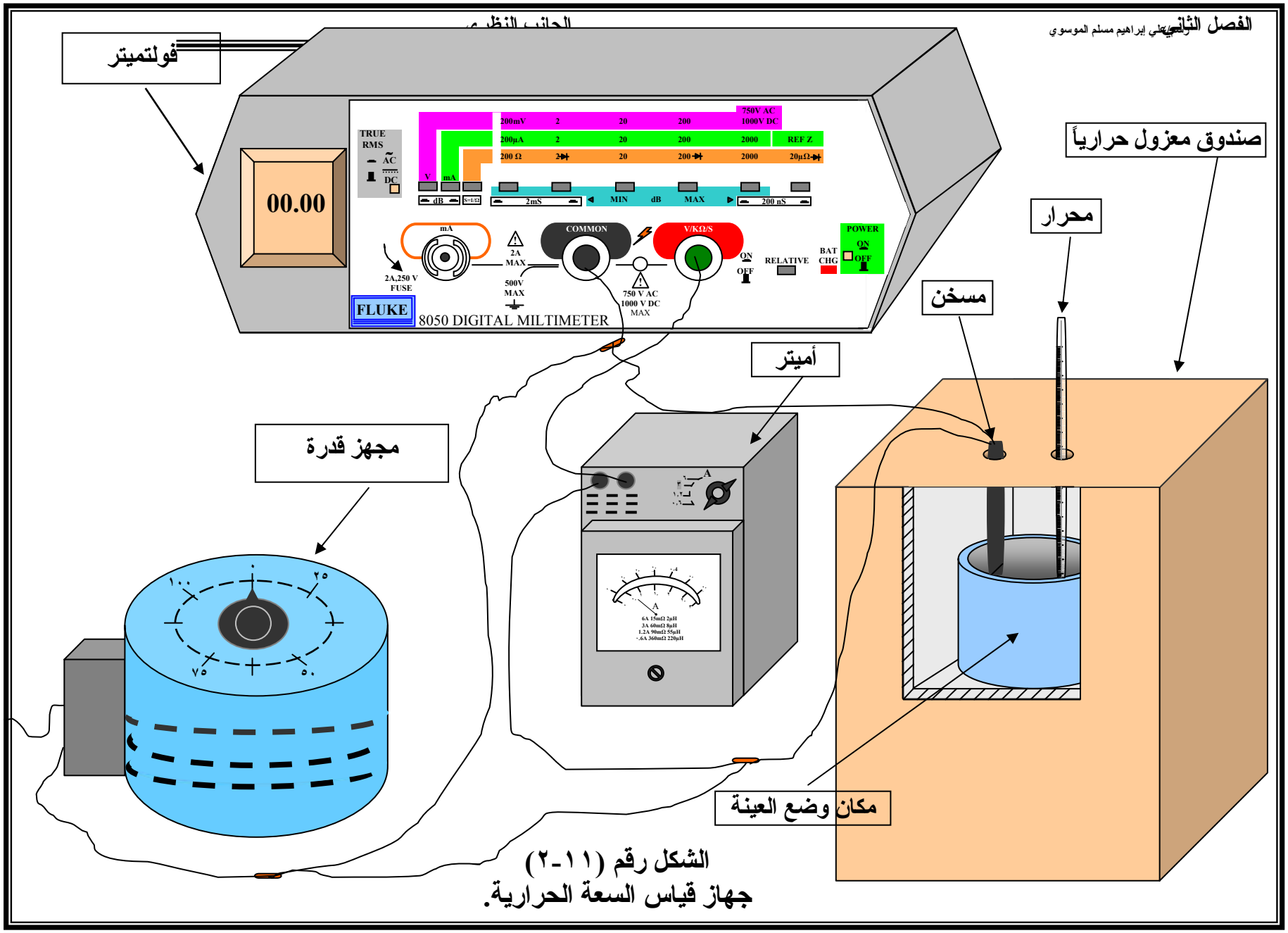
C_P= السعة الحرارية (J/g.ºC).

m= كتلة المادة(g).

$\frac{\Delta T}{\Delta t}$= معدل التغير درجة الحرارة مع الزمن(ºC/sec).

الشكل رقم (٢-١١) يبين الجهاز المستخدم في حساب السعة الحرارية لمادة الأنتيمون وأوكسيد الأنتيمون الثلاثي إذ يتكون هذا الجهاز من صندوق معزول حرارياً لمنع تسرب الحرارة منه واليه توضع فيه المادة المراد حساب السعة الحرارية لها ويتم تثبيت مسخن فيها لتسخينها ومحرار لحساب الارتفاع في درجات الحرارة خلال فترة زمنية معينة بالإضافة إلى مجهز قدرة لتزويد المسخن بالطاقة الحرارية وفولتميتر لقياس الفولتية الداخلة وأميتر لقياس التيار .

تبدأ درجة حرارة المادة بالارتفاع نتيجة لإمتصاصها للحرارة بعدها يقل إمتصاص المادة للحرارة إلى أن نحصل على ثبوت شبه مستقر في درجة حرارة المادة .



الشكل رقم (١١-٢)
جهاز قياس السعة الحرارية.

2.15– مراجعة الأدبيات (Λιτερατυρεσ Ρεϖιεϖ).

يعتبر الراهب (Basil Valentine) والذي عاش في جنوب ألمانيا في القرن الخامس عشر أول من ألف كتاباً عن الأنتيمون عام (١٦٠٤) وسماه(Triumphal Chariot of Antimony) الذي وصف فيه بشكل مفصل تحضير الأنتيمون المعدني[٣٤] .

وفي العام (1855) قام العالم (Gore) بإكتشاف الأنتيمون المتفجر عن طريق إمرار تيار كهربائي في محلول ثلاثي كلوريد الأنتيمون في حامض الهيدروكلوريك باستخدام آنود من الأنتيمون وكاثود من البلاتين حيث يتم ترسيب الأنتيمون المتفجر على الكاثود[١٣] .

وفي العام (1933) قام العالم (Prins) بإستخدام طريقة حيود الإلكترون لإثبات إن الأنتيمون المتفجر متزجج التركيب[٣٤] .

قام العالم (Westgren) عام (1937) بتوضيح إن المركب $Sb^{III}Sb_2{}^{V}O_6(OH)$ هو أول ما يتكون عند التسخين لدرجة (800ºC) وهو بداية تكون أوكسيد الأنتيمون الرباعي الذي نحصل عليه عند التسخين لفترات طويلة[٣٤] .

في العام (1938) إستخدم العالم (Dihlström) حسابات التركيب بالأشعة السينية لتوضيح إن الاوكسيد الرباعي هو خليط من أوكسيد الأنتيمون الثلاثي (Sb_2o_3) و أوكسيد الأنتيمون الخماسي (Sb_2O_5) أو $Sb^{III}Sb^{V}O_4$ [٣٤].

في عام 1996 قام الباحثان (Horacek) و (Grabner) بتقديم بحث يتضمن مزايا المواد المعيقة للهب النايتروجينية وكذلك إمكانية إعادة تصنيع هذه المواد (recycleability) ، حيث إستنتجوا بأن معيقات اللّهب النايتروجينية تمتلك درجات حرارة تفكك عالية مقارنة مع بقية معيقات اللّهب ولا تُظهر ميلاً للتفاعل لتكوين مركبات خطرة. كذلك أوضحوا بأن معيقات اللّهب النايتروجينية لا تدمر

كفاءة مثبتات (HALS) ويعود السبب في ذلك إلى إنها لا تُكونْ جذور حرة كما هو موجود في معيقات اللّهب الهالوجينية [١١].

وفي العام(١٩٩٧) قدم الباحث(Jeffrey) بتقديم بحث يتضمن مزايا إستخدام أوكسيد الأنتيمون الخماسي(Sb_2O_5) الغروي ($BurnEX^{TM}$ ADP494) مع بوليمر ثلاثي النظام متكون من إكريلونتريل- بوتادين- ستايرين(ABS) حيث أوضحت النتائج بأنه يمكن الحصول على مقاومة صدم أعلى مع حد أدنى من فقدان الشفافية(Translucency Loss) إضافة إلى تحسن الخواص الفيزياوية والحصول على مميزات إنسياب أفضل [35].

وفي عام (2000) قدم الباحثان (Edward) و (Michael) بحثاً يتضمن دراسة تأثير حالة المادة المعيقة للهب على مقاومة راتنج البولي بروبلين للّهب وثباتيته للأشعة فوق البنفسجية حيث إستخدما أوكسيد الأنتيمون الثلاثي والخماسي على شكل حبيبات ذات تركيب غروي (Colloidal) إذ أوضحت النتائج التي حصلا عليها بأن النظام المعيق للّهب المعروف بإسم(Burn Ex 2000) حصل على خواص فيزياوية جيدة وخواص جمالية وإعاقة للّهب عند مستويات تحميل واطئة جداً . [20]

وفي عام (2000) قام الباحثان (Horacek) و(Pieh) بتقديم دراسة متقدمة عن إستخدام المواد المعيقة للّهب النايتروجينية في الطلاء (paint) لحماية المواد اللدائنية من مهاجمة اللّهب حيث إستخدما مواد (Sodium Silicate) و (Vermcular) كمادة معيقة للّهب مضافة إلى الطلاء لتحسين كفاءته لمقاومة اللّهب ، حيث أوضحا في النتائج التي حصلا عليها بأن هذه المعيقات تقوم ببناء رغوة عضوية-لاعضوية أثناء فعل الإنتفاخ (Intumescent Action) بوجود النار وهذه الرغوة تتغير ببطأ إلى رغوة لاعضوية نقية تُحيط الطبقات السفلى للمادة [10] .

وفي نفس العام قام الباحث(Edward) بتقديم دراسة عن مزايا إستخدام جسيمات من أوكسيد الأنتيمون الخماسي(Sb_2O_5) ذات حجم حبيبي أقل من (0.1μ) وأوضحت الدراسة مميزات إستخدام حبيبات صغيرة من (Sb_2O_5) على نتائج إختبار الصدمة بطريقة آيزود حيث أظهرت النتائج تحسن هام في هذه الخاصية عند جميع مستويات التحميل [36].

الفصل الثالث
الجانب العملي

3.1 - المُقدَمـــــَة (Ιντροδυχτιον).

يتضمن هذا الفصل وصفاً للمادة الأولية المستخدمة في تحضير المادة المعيقة للّهب إضافة إلى شرح طريقة تحضير المادة المعيقة للهب وهي أُوكسيد الأنتيمون الثلاثي (Sb_2O_3) كذلك

يتعرض هذا الفصل إلى المواد الأولية المستخدمة في تصنيع المادة المركبة والمستخدمة للصق وإسناد المادة المعيقة للهب إضافة إلى التطرق إلى الاختبارات الحرارية التي أُجريتْ على المادة المعيقة للهب وعلى بعض المواد الاخرى التي استخدمت للمقارنة معها .

3.2- تهيئة المادة الأولية المستخدمة في تحضير المادة المعيقة للَّهَبْ

المادة الأولية المستخدمة في تحضير المادة المعيقة للّهب هي الأنتيمون حيث تم إستخدام نوعين من الأنتيمون هما الأنتيمون المعدني والأنتيمون الأسود .

الأنتيمون الأسود مجهز من قبل شركة (BDH Chemical Ltd Pool England) وبحجم حُبَيبي (Grain Size) مقداره(8μ) الجدول رقم(١-٣) يوضح التركيب الكيمياوي للأنتيمون الأسود.

الجدول رقم(١-٣)

التركيب الكيمياوي للأنتيمون الأسود

Element	Symbol	Percentage Content
Antimony	Sb	98.5
Lead	Pb	0.45
Iron	Fe	0.07
Arsenic	As	0.05

أما الأنتيمون المعدني فهو متوفر في السوق المحلية وبنقاوة جيدة وبحجم حبيبي(10μ)، وقد تم إجراء الفحص الكيمياوي عليه بواسطة (X-Ray Fluorescent) ، والجدول رقم(٢-٣) يوضح تركيبه الكيمياوي.

الجدول رقم(٢- ٣)

التركيب الكيمياوي للأنتيمون المعدني

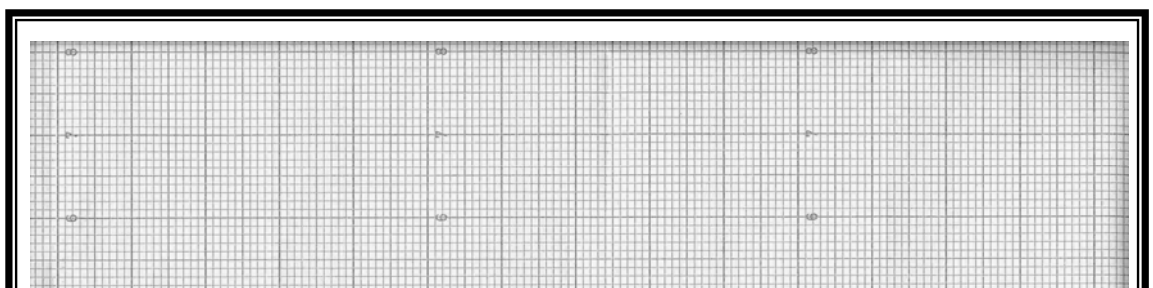
Element	Symbol	Percentage Content
Antimony	Sb	٩٩,٥
Copper	Cu	0.5

3.3- تحـــــــــضير المـــــــــادة المعيقـــــــــة للَّهَـــــــــبْ (Πρεπαρατιον οφ Φλαμε Ρεταρδαντ).

تم تسخين كِلا النوعين من الأنتيمون في فرن الى درجة حرارة (600ºC) وهي درجة حرارة تكَونْ أوكسيد الأنتيمون الثلاثي ولمدة ثلاث ساعات ولفترات متقطعة حيث يُسخنْ في البداية لمدة نصف ساعة بعدها يتم إخراجه من الفرن ويطحن بسبب تكتله خلال التسخين ، ثم يُعاد الى الفرن مرة ثانية وهكذا حتى يكتمل تحول كل الأنتيمون الى أوكسيد ، والشكل رقم(١-٣) يوضح إختبار فحص الأشعة السينية لمسحوق أوكسيد الأنتيمون الثلاثي .

3.4- المواد المضافة إلى أوكسيد الأنتيمون الثلاثي .

أضِيفتْ مادة بورات الزنك (Zinc Borate) إلى أوكسيد الأنتيمون الثلاثي لتحسين قدرته على إعاقة اللّهب . تنتمي مادة بورات الزنك الى معيقات اللّهب غير العضوية حيث تتمتع بقدرة جيدة على إعاقة اللّهب وتم الحصول على مادة بورات الزنك من السوق المحلية وبنقاوة جيدة والجدول رقم (٣-٣) يبين التركيب الكيمياوي لبورات الزنك.



-2θ=2
Range =$2*10^3$
Speed=2cm/min
20/40 Cu/Tube

الشكل رقم(١- ٣)
فحص الأشعة السينية لمسحوق أوكسيد الأنتيمون الثلاثي

الجدول رقم (٣-٣)

التركيب الكيمياوي لبورات الزنك

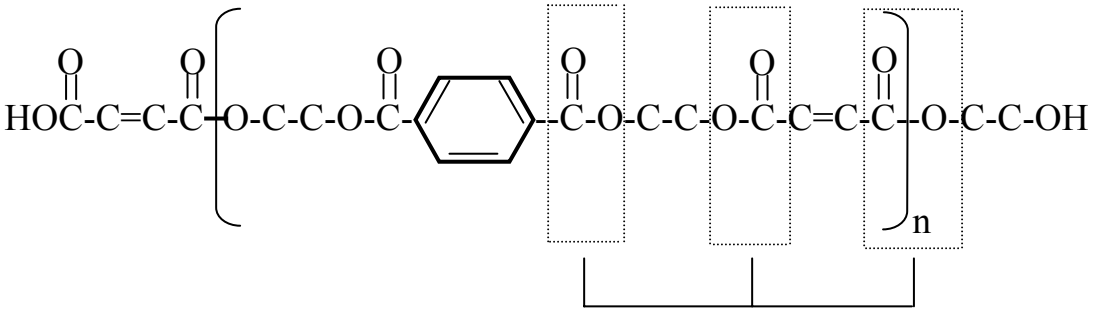
Compound	symbol	Percentage Content
Zinc Oxide	ZnO	٤٥
Boric Anhydride	B_2O_3	٣٤
Water of Hydration	H_2O	٢٠
Impurities	-	١

3.5- تهيئة المادة الأولية لتحضير المادة المركبة

وتتضمن تهيئة المادة الأساس (المادة اللاصقة) والتي تمثل راتنج البولي أستر غير المشبع بالإضافة إلى تهيئة ألياف التقوية (مادة الإسناد) وهي ألياف الزجاج.

3.5.1- راتنج البولي أستر غير المشبع (Υνσατυρατεδ Πολψεστερ Ρεσιν).

تم استخدام راتنج البولي أستر غير المشبع (Palatel A420) والموضح تركيبه الكيمياوي في الشكل رقم (2- ٣). يمتاز راتنج البولي أستر غير المشبع بخواص حرارية جيدة وكذلك يمتلك مقاومة جيدة للتآكل وللتأثيرات البيئية بالإضافة إلى مقاومة كهربائية ممتازة ومقاومة كيمياوية للمذيبات والأحماض والأملاح ولكنه يتصف بالضعف والهشاشية .



الشكل رقم(٢- ٣)

التركيب الكيمياوي لراتنج البولي أستر غير المشبع[٣٧]

3.5.2- الألياف الزجاجية (Γλασσ Φιβερσ).

تمتلك الألياف الزجاجية الكثير من الخواص الفيزياوية والكيمياوية الجيدة ومنها إمتلاكها لدرجة إنصهار عالية ومقاومة كيمياوية جيدة . هنالك أنواع عدة من الألياف الزجاجية حيث تكون بشكل ظفائر محاكة (Woven Roving) أو بشكل ألياف مقطعة (Chopped Strand) أو بشكل نسيج زجاجي (Glass Fabric) . أو على شكل خيوط وأشرطة . تم إستخدام حصيرة من ألياف الزجاج العشوائية ذات كثافة ($600\ g/cm^3$) نوع E- (E-glass) والجدول رقم (3-3) يبين مكونات ألياف الزجاج ونسبها المئوية(التركيب الكيمياوي).

الجدول رقم(٤-٣)

مكونات ألياف الزجاج ونسبها المئوية[٣٨].

Compound	Content Percentage
Silicon Dioxide	52-56
Aluminum Oxide	12-16
Boric Oxide	5-10
Sodium Oxide & Potassium Oxide	0-2
Magnesium Oxide	0-5
Calcium Oxide	16-25
Barium Oxide	-
Titanium Dioxide	0-1.5
Zinc Oxide	-
Iron Oxide	0-0.8
Zirconium Oxide	-

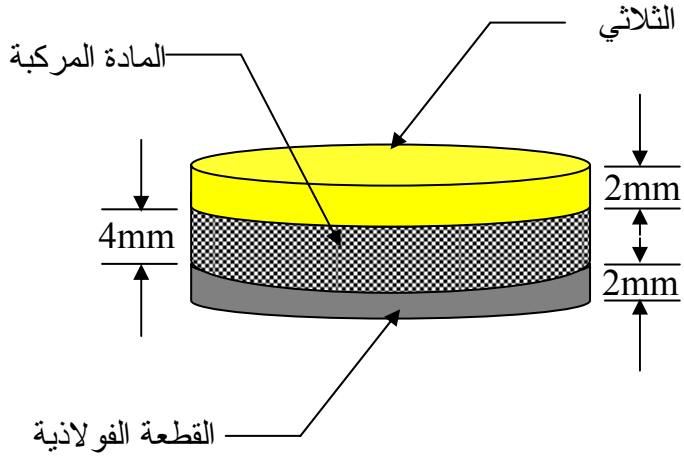
Iron	0.1

3.6- تَحـــــــــــضير نمـــــــــــاذج الفحـــــــــــص (Τεστ Σπεχιμενσ Πρεπαρατιον).

وتشمل تحضير النماذج الخاصة بإختبار التعرية الحرارية بالإضافة إلى نماذج إختبار المُوصِلية الحرارية في درجات الحرارة الواطئة كذلك تحضير النماذج الخاصة بإختيار السعة الحرارية .

٣.6.1- نمـــــــــــاذج إختبـــــــــــار التعريـــــــــــة الحراريـــــــــــة (Σπεχιμενσ οφ Τηερμαλ Εροσιον Τεστ).

تتكون نماذج إختبار التعرية الحرارية من ثلاث طبقات ،الطبقة الاولى متكونة من أكسيد الأنتيمون الثلاثي(Sb_2O_3) وتكون بسُمكْ(2mm)، تليها طبقة المادة المركبة المكونة من راتنج البولي أستر غير المشبع و ألياف الزجاج العشوائية وتكون بسُمكْ(4mm)،والطبقة الثالثة عبارة عن قطعة من الفولاذ بسُمكْ(2mm) لذلك يكون مجموع سمك النموذج (8mm ±١%) والشكل رقم (٣-٣) يمثل رسماً تخطيطياً لشكل عينة إختبار التعرية الحرارية.

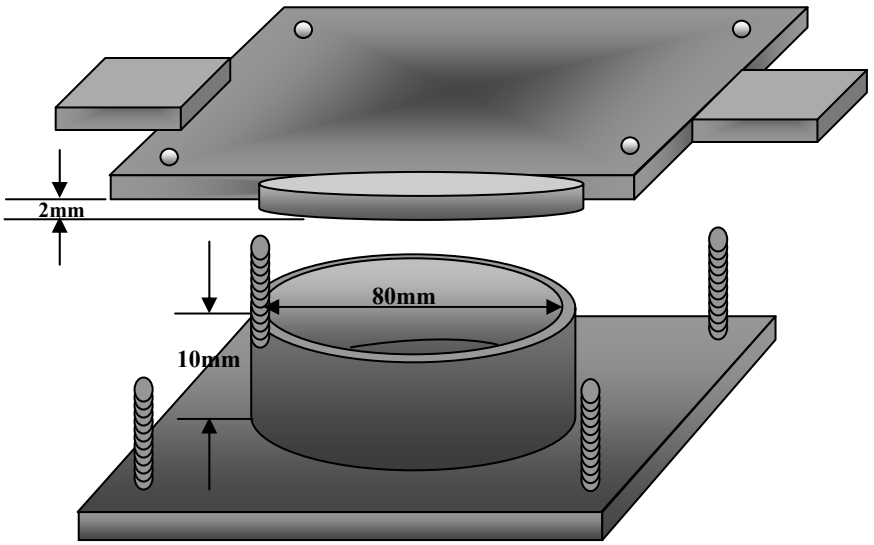


الشكل رقم(٣-٣)

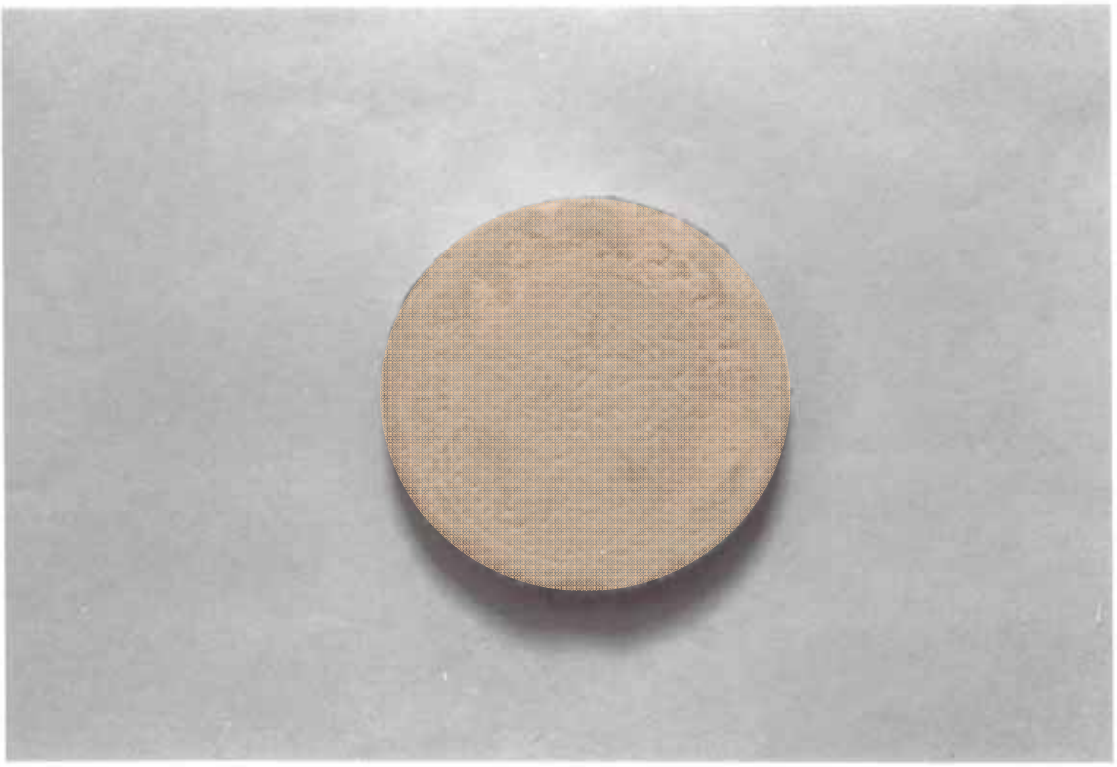
طريقة تصنيع نماذج إختبار التعرية الحرارية تتم بتهيئة قطع دائرية الشكل من الألياف الزجاجية العشوائية وبقطر(80 mm) وبنفس أبعاد القالب المعدني الموضح في الشكل رقم (4-3) إذ تم إستخدام القولبة اليدوية والتي تعرف بإسم (Hand Lay Up) في تحضير هذه النماذج .

تم طلاء القالب المعدني بمادة الورنيش لتفادي إلتصاق النماذج بعدها يرش القالب بمادة بولي فنيل الكحول (polyvinyl Alcohol) الذي يسهل فصل النماذج من القالب . يتم إضافة المادة المعجلة إلى راتنج البولي أستر غير المشبع وتخلط جيداً معه تسمى هذه المادة (Cobalt Octoatel) والتي تحتوي على كوبالت فعال بنسبة (6%) بعدها تضاف إليه المادة المصلدة (MEKPO) بنسبة (٢%)[٢٤] . توضع كمية من الراتنج على سطح القالب الداخلي وتنشر بفرشاة لضمان توزيعه بانتظام بعدها توضع الطبقة الأولى من الألياف ثم نضع كمية اخرى من الراتنج عليها وهكذا لبقية الطبقات لتتكون مادة مركبة بالسمك المطلوب . تم إستخدام الطريقة الوزنية في حساب كمية كل من الألياف والراتنج المستخدمة في تصنيع المادة المركبة ،حيث إستُخدم (٤٠%) نسبة وزنية من راتنج البولي أستر غير المشبع و(٦٠%) نسبة وزنية من ألياف الزجاج العشوائية.

بعد ذلك توضع المادة المعيقة للّهب وهي أوكسيد الأنتيمون الثلاثي على المادة المركبة ويتم كبسها في القالب وتترك لتتصلب . بعدها يتم إستخراج المادة المركبة (راتنج + ألياف + المادة المعيقة للهب) وتوضع في فرن درجة حرارته (107ºC) لإكمال التصلب[٢٤] . الشكل رقم (5-3) يوضح نماذج إختبار الشعلة الحرارية .



الشكل رقم(٤-٣)
القالب المستخدم في تصنيع نماذج إختبار التعرية الحرارية

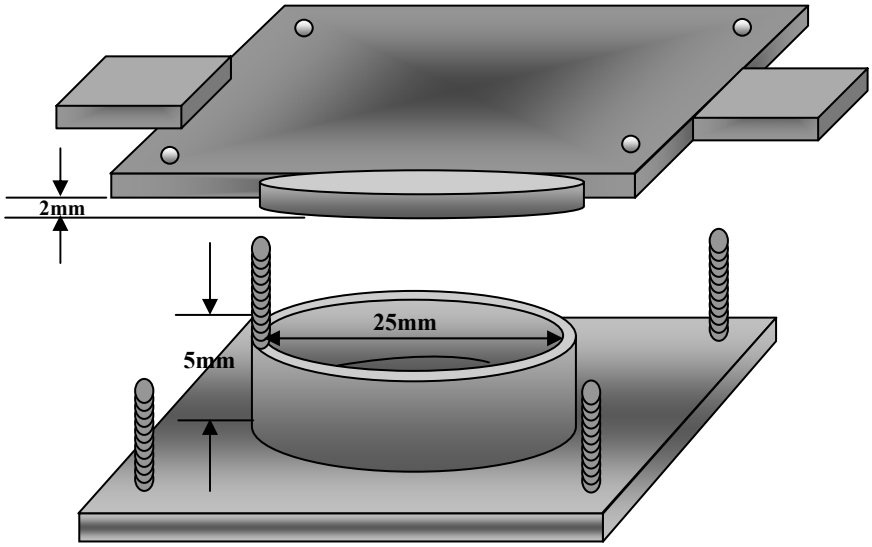


الشكل رقم(٥- ٣)
عينة إختبار التعرية الحرارية

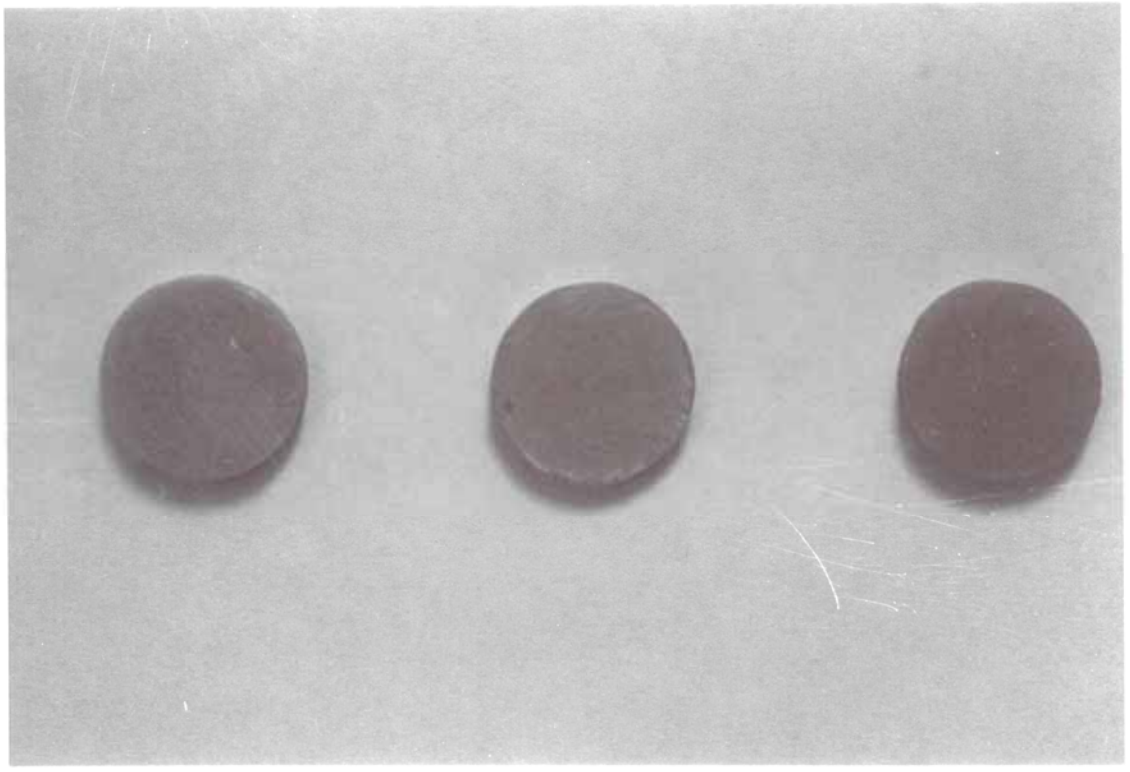
3.6.2- نمـــــــــــــــــــــــــــــــــاذج إختبـــــــــــــــــــــــــــــــــار الموصليةالحرارية(Σπεχιμενσ οφ Τηερμαλ Χονδυχτιωιτψ Τεστ)

تـم تهيئـة قطـع دائريـة مـن الأليـاف الزجاجيـة وبقطـر (25mm) تلائـم القالـب المـستخدم فـي تـصنيع النمـاذج والمبين فـي الـشكل رقم (6-3) . تحـضير الـراتنج تم بـنفس الطريقـة الـسابقة وكـذلك تصنيع النماذج تشابه الطريقة المستخدمة في تصنيع عينات اختبار التعرية الحرارية .

ثم كبست هذه النماذج وتركت لتتصلب ، بعدها تم إخراجها من القالب ووضعت في الفرن لإكمال التصلب كما في الطريقة السابقة ، ويبلغ سمك عينات إختبار الموصلية الحرارية(3 mm) . والشكل رقم (7-3) يوضح عينات إختبار الموصلية الحرارية .



الشكل رقم(٦-٣)
القالب المستخدم في تصنيع نماذج إختبار الموصلية الحرارية



الشكل رقم(٧-٣)
عينات إختبار المُوصِلية الحرارية

3.6.3- نماذج إختبار السعة الحرارية (Specimens of Heat Capacity Test).

تم إستخدام مساحيق كل من الأنتيمون المعدني و الأنتيمون الأسود وكذلك مسحوق أوكسيد الأنتيمون الثلاثي في هذا الاختبار حيث تم إستخراج السعة الحرارية لكل منها .

3.7- الإختبارات الحرارية (Thermal Tests).

وتشمل إختبارات التعرية الحرارية وإختبار الموصلية الحرارية وكذلك إختبار السعة الحرارية .

3.7.1- إختبار التعرية الحرارية (Thermal Erosion Test).

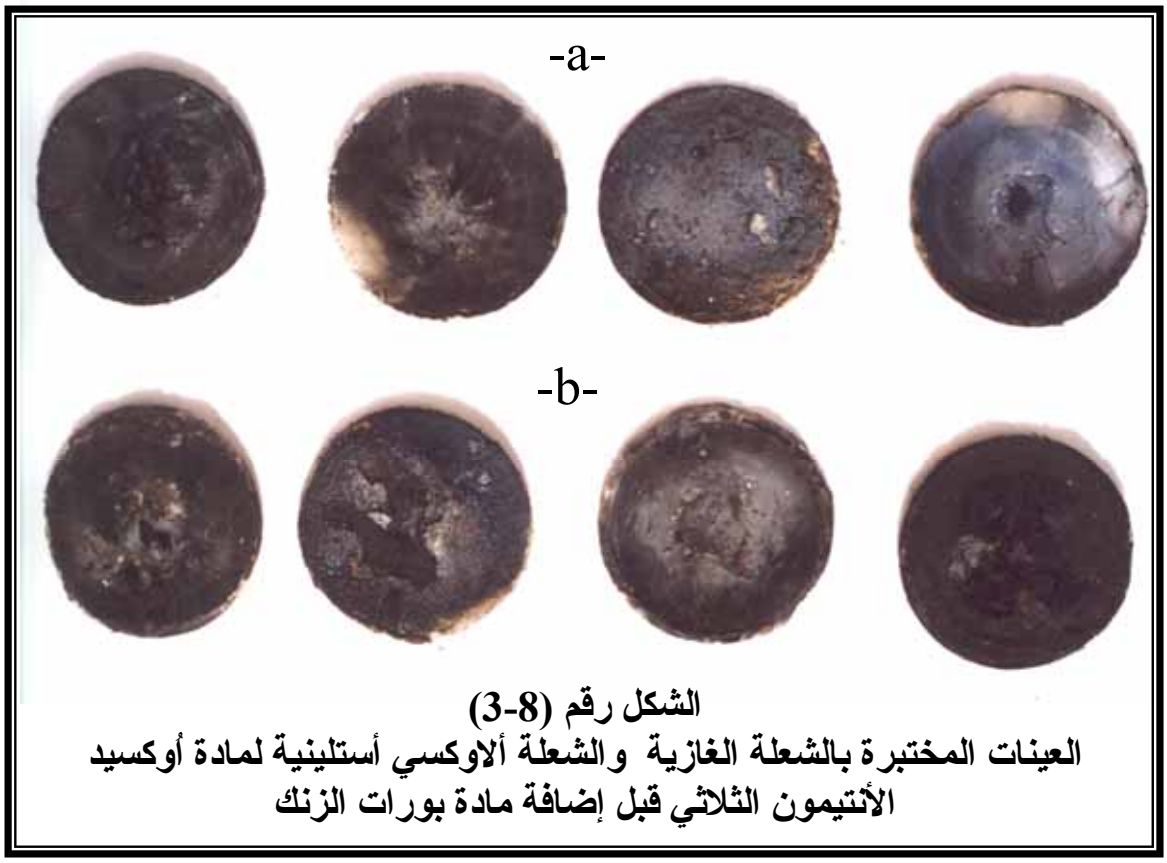
إستُخدم في هذا الاختبار نوعين من الشعلة الحرارية وهي الشعلة الغازية وتبلغ درجة حرارتها (2000ºC) والشعلة ألاوكسي آستيلنية ودرجة حرارتها (3000ºC -3250ºC) حيث تم إختبار المادة المعيقة للّهب وهي أوكسيد الأنتيمون الثلاثي قبل وبعد إضافة مادة بورات الزنك إليه. الشكل رقم (3-8-a) يوضح العينات المختبرة بالشعلة الغازية الشكل رقم(3-8-b) يوضح العينات المختبرة الشعلة ألاوكسي أستلينية قبل إضافة مادة بورات الزنك أما الشكل رقم (3-9-a) فيوضح العينات المختبرة بالشعلة الغازية ،والشكل رقم (3-9-b) فيوضح العينات المختبرة الشعلة ألاوكسي أستلينية بعد إضافة مادة بورات الزنك الى أوكسيد الأنتيمون الثلاثي .

3.7.2- إختبار الموصلية الحرارية (Thermal conductivity).

إستخدم هذا الإختبار لقياس معامل الموصلية الحرارية في درجات الحرارة الواطئة لمعرفة تأثير إضافة المادة المعيقة للّهب .

3.7.3- إختبـــــــــــــار الـــــــــــــسعة الحراريـــــــــــــة (Ηεατ χαπαχιτψ Τεστ).

أجري هذا الإختبار على مساحيق معدن الأنتيمون المعدني والأسود وكذلك على مسحوق أوكسيد الأنتيمون الثلاثى لمعرفة كمية الحرارة اللازمة لتسخين غرام واحد من المادة .



الشكل رقم (3-8)
العينات المختبرة بالشعلة الغازية والشعلة ألاوكسي أستلينية لمادة أوكسيد الأنتيمون الثلاثي قبل إضافة مادة بورات الزنك

-b-

الفصل الرابع
النتائج

4.1 - المقدمـــــــــــة (Ιντροδυχτιον).

سوف يتم في هذا الفصل تناول نتائج الإختبارات التالية :-

١- إختبار التعرية الحرارية (Thermal Erosion Test) .

٢- إختبار الموصلية الحرارية في درجات الحرارة الواطئة (Thermal Conductivity).

٣- إختبار السعة الحرارية(Heat Capacity) .

4.2- إختبار التعرية الحرارية (Τηερμαλ Εροσιον Τεστ).

تم في هذا الإختبار إستعمال نوعين من الشعلة الحرارية وهي الشعلة الغازية والشعلة ألاوكسي أستلينية وتسليطها بمسافات (5mm) و (10mm) و (15mm) و (20mm) على التوالي . والأشكال (1-4) و (2-4) و (3-4) و (4-4) تبين إختبار التعرية الحرارية بالشعلة الغازية و الشعلة الاوكسي أستلينية على مادة أوكسيد الأنتيمون الثلاثي .

أما الأشكال (5-4) و (6-4) فتوضح تأثير إضافة مادة بورات الزنك على زيادة مقاومة أوكسيد الأنتيمون الثلاثي لإختبار التعرية الحرارية بالشعلة الغازية .

والأشكال (7-4) و (8-4) تبين تأثير إضافة مادة بورات الزنك على زيادة مقاومة أوكسيد الأنتيمون الثلاثي لإختبار التعرية الحرارية بالشعلة الحرارية ألاوكسي أستلينية .

4. 3- إختبار المُوصِلية الحرارية (Τηερμαλ χονδυχτιωιτψ Τεστ).

إستخدم جهاز الموصلية الحرارية لقياس معامل الموصلية الحرارية للمادة المركبة المكونة من راتنج البولي أستر غير المشبع وألياف الزجاج العشوائية قبل وبعد إضافة أوكسيد الأنتيمون الثلاثي إليها وبنسب (10%),(20%), (30%). ثم طُبقتْ النتائج التي يتم الحصول عليها من هذا الجهاز في معادلة فورير لإستخراج معامل التوصيل الحراري .

الشكل رقم (9-4) يبين المُوصِلية الحرارية لراتنج البولي أستر غير المشبع المقوى بألياف الزجاج العشوائية قبل إضافة أوكسيد الأنتيمون الثلاثي إليه.

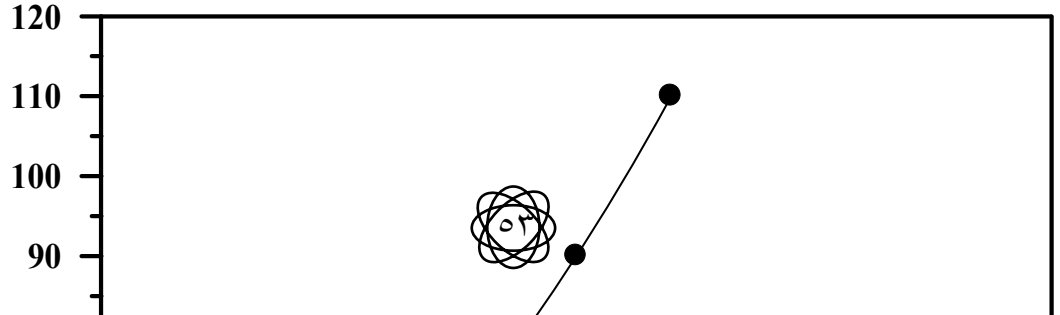
أما الشكل رقم (4-10) فيوضح تأثير إضافة أوكسيد الأنتيمون الثلاثي على المُوصِلية الحرارية لراتنج البولي أستر غير المشبع المقوى بألياف الزجاج . الجدول

4.4 - إختبار السعة الحرارية (Heat Capacity Test).

تم هذا الإختبار على مساحيق كل من الأنتيمون الأسود وحجمه الحبيبي (8μ) ومسحوق الأنتيمون المعدني وبحجم حبيبي قدره (μ 10) . وكذلك تم هذا الاختبار على مسحوق أوكسيد الأنتيمون الثلاثي و الشكل (4-11) فيوضح السعة الحرارية لاوكسيد الأنتيمون الثلاثي.

أما الشكل الرقم (4-12) يبين السعة الحرارية لكل من الأنتيمون الأسود والأنتيمون المعدني.

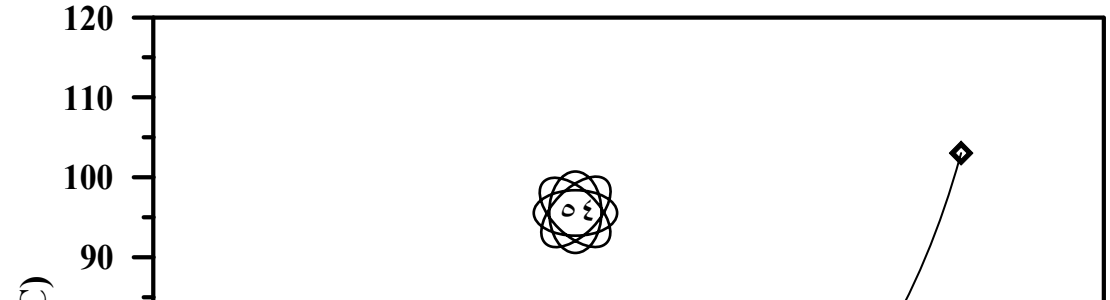
الجدول الرقم(٤-٤) يبين مقدار السعة الحرارية لكل من الأنتيمون المعدني والأنتيمون الأسود و أوكسيد الأنتيمون الثلاثي عند درجة حرارة(70ºC).



الشكل رقم (١- ٤)

إختبار التعرية الحرارية بالشعلة الغازية لإوكسيد الأنتيمون الثلاثي

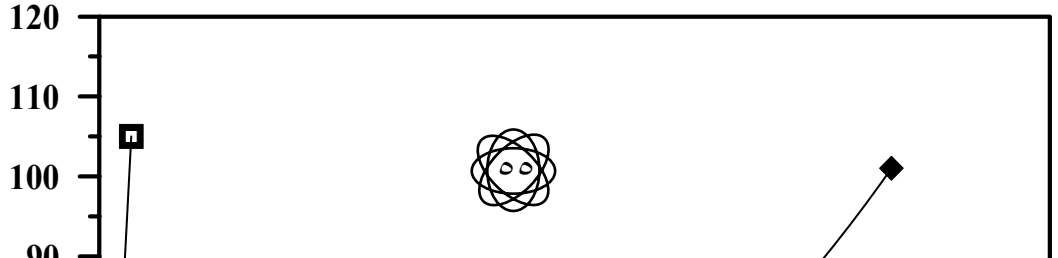
(مسافة الإختبار 5mm).



الشكل رقم (٢ – ٤)

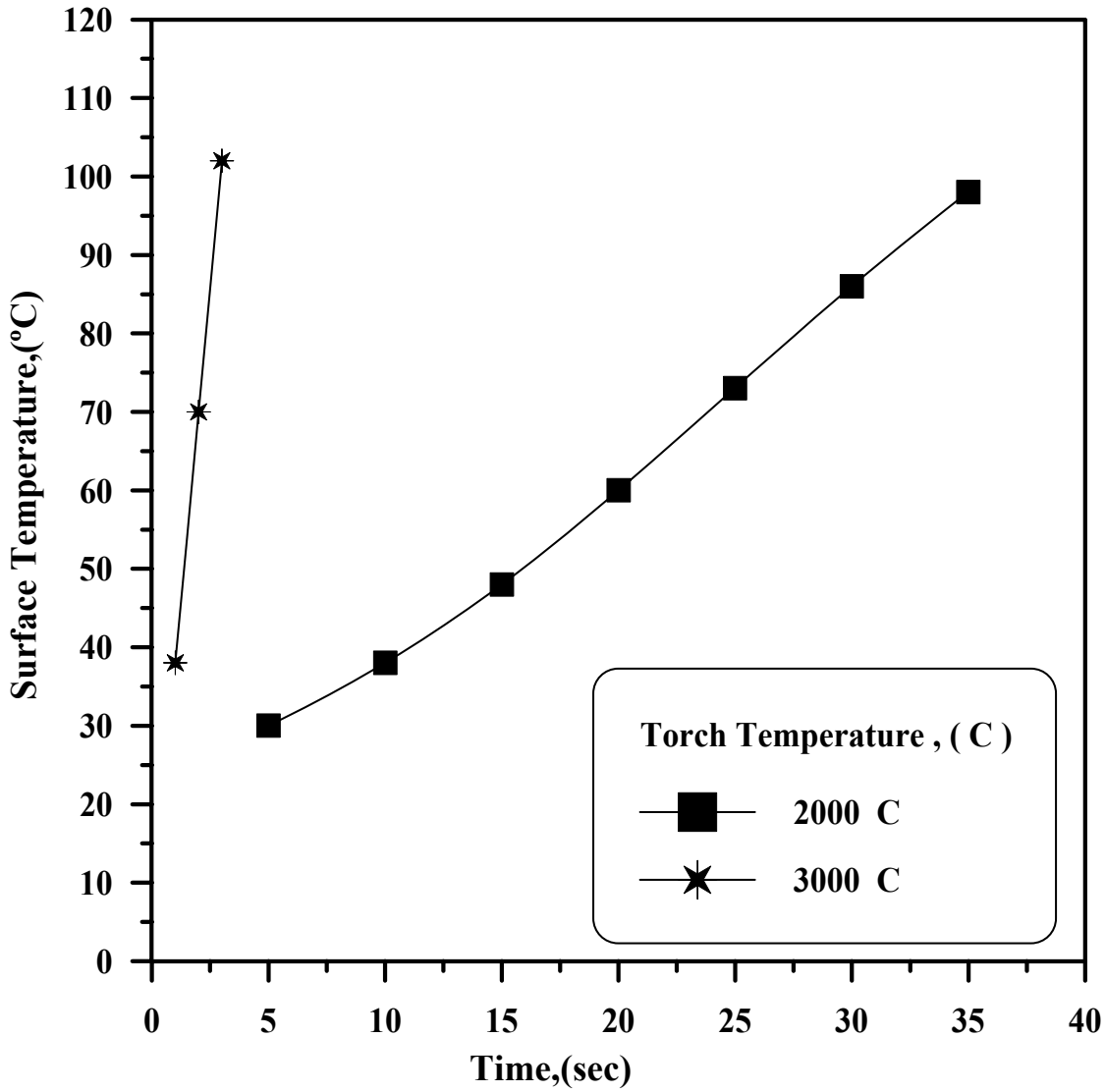
إختبارالتعرية الحرارية بالشعلة الغازية لإوكسيد الأنتيمون الثلاثي

(مسافة الإختبار 10mm)



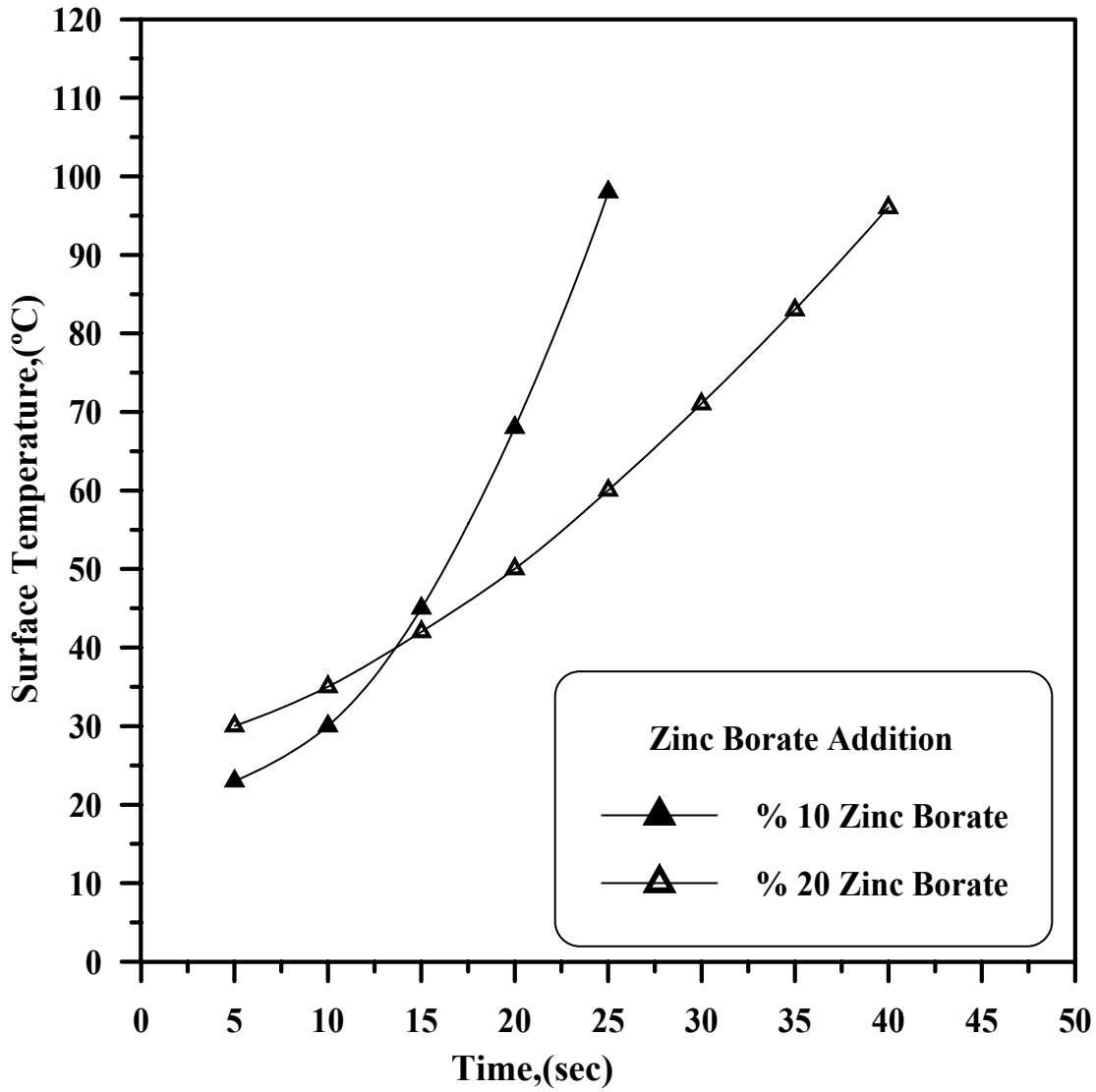
الشكل رقم (3 – ٤)

إختبارالتعرية الحرارية بالشعلة الغازية و الشعلة الأوكسي أستلينية لإوكسيد الأنتيمون الثلاثي (مسافة الإختبار 15mm)



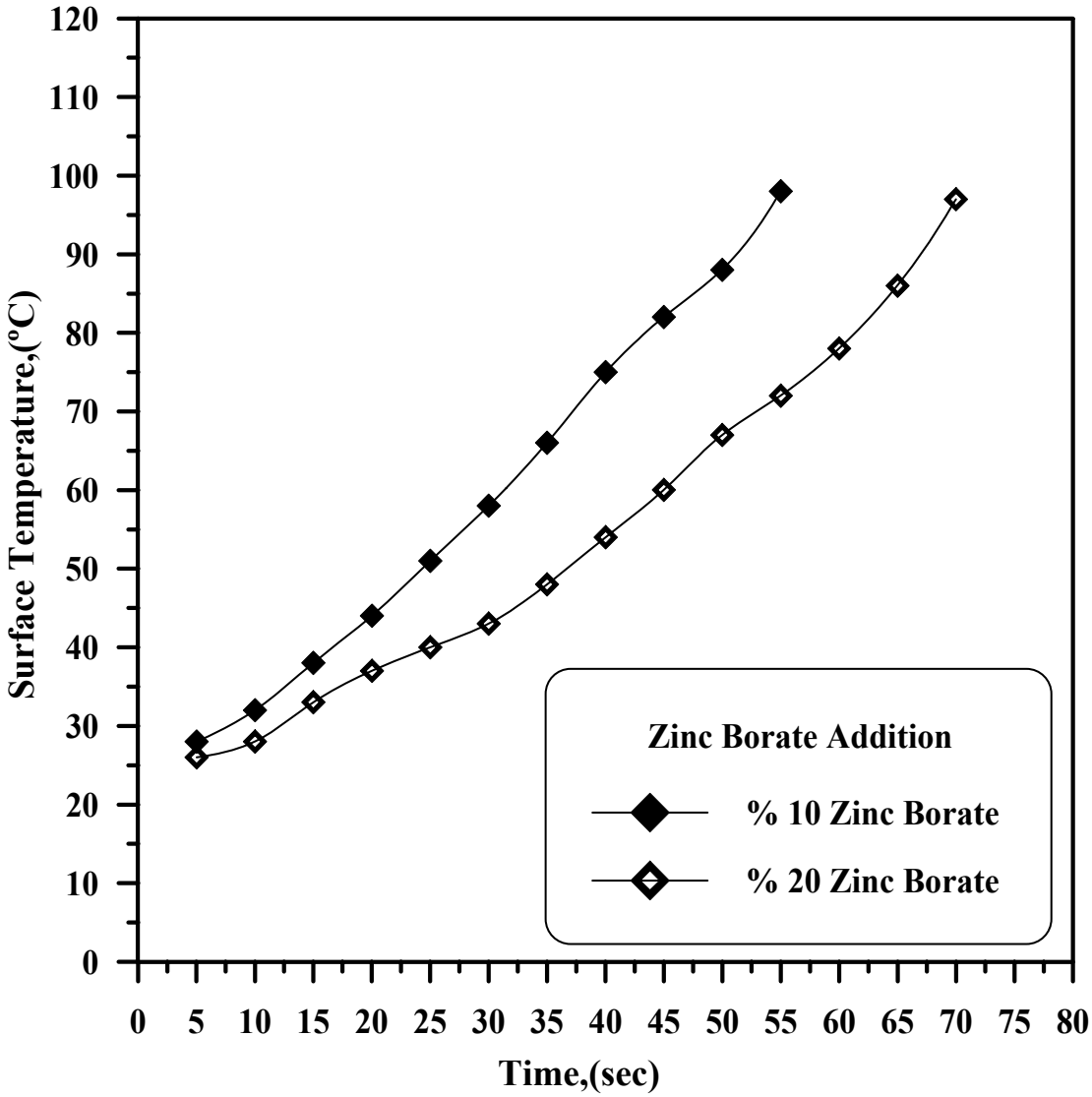
الشكل رقم (4 – ٤)

إختبارالتعرية الحرارية بالشعلة الغازية والشعلةالأوكسي أستلينية لإوكسيد الأنتيمون الثلاثي (مسافة الإختبار 20mm)



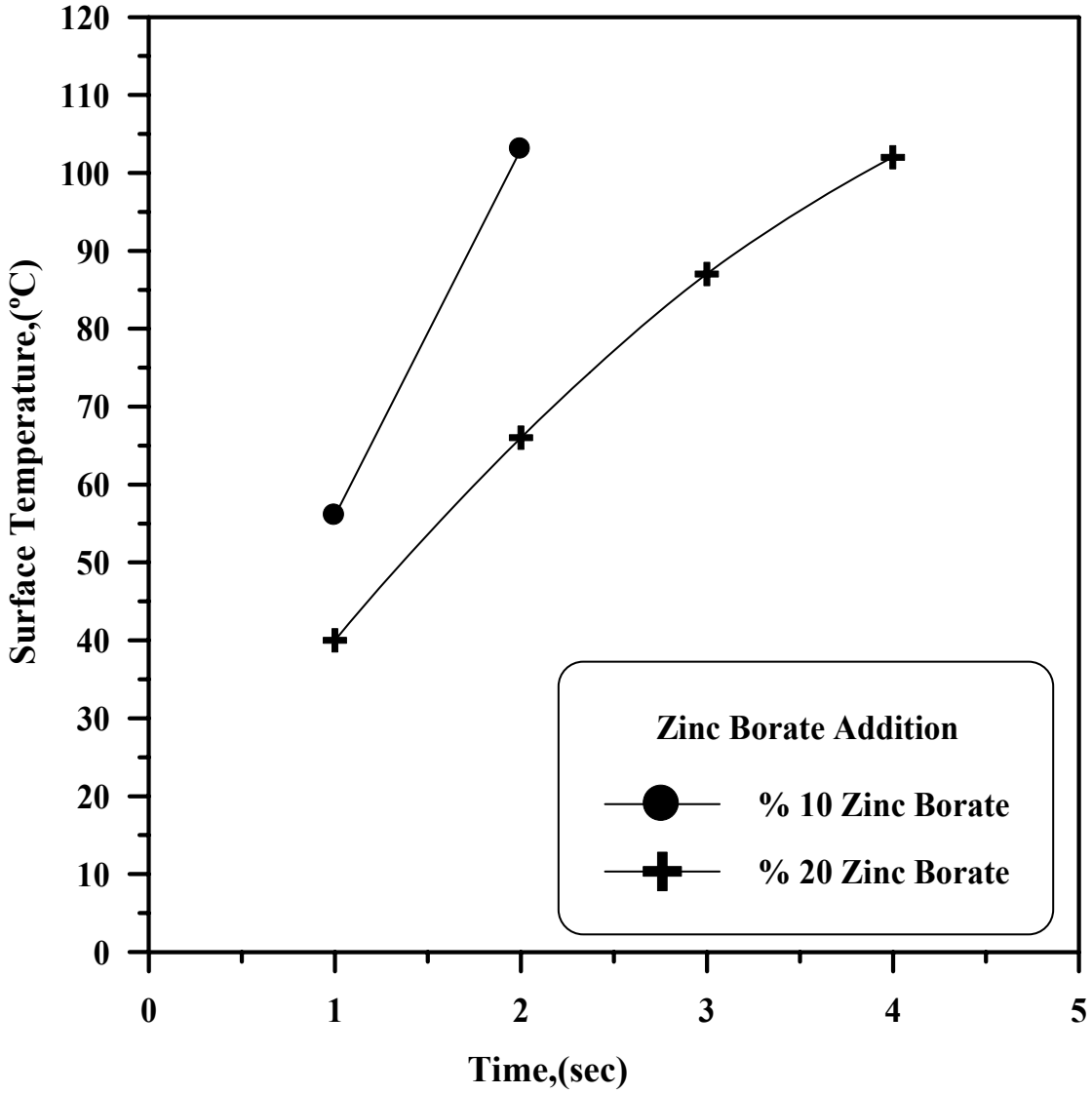
الشكل رقم (٥ – ٤)

تأثير مادة بورات الزنك على مقاومة أوكسيد الأنتيمون الثلاثي لإختبارالتعرية الحرارية بالشعلة الغازية (مسافة الإختبار10 mm)



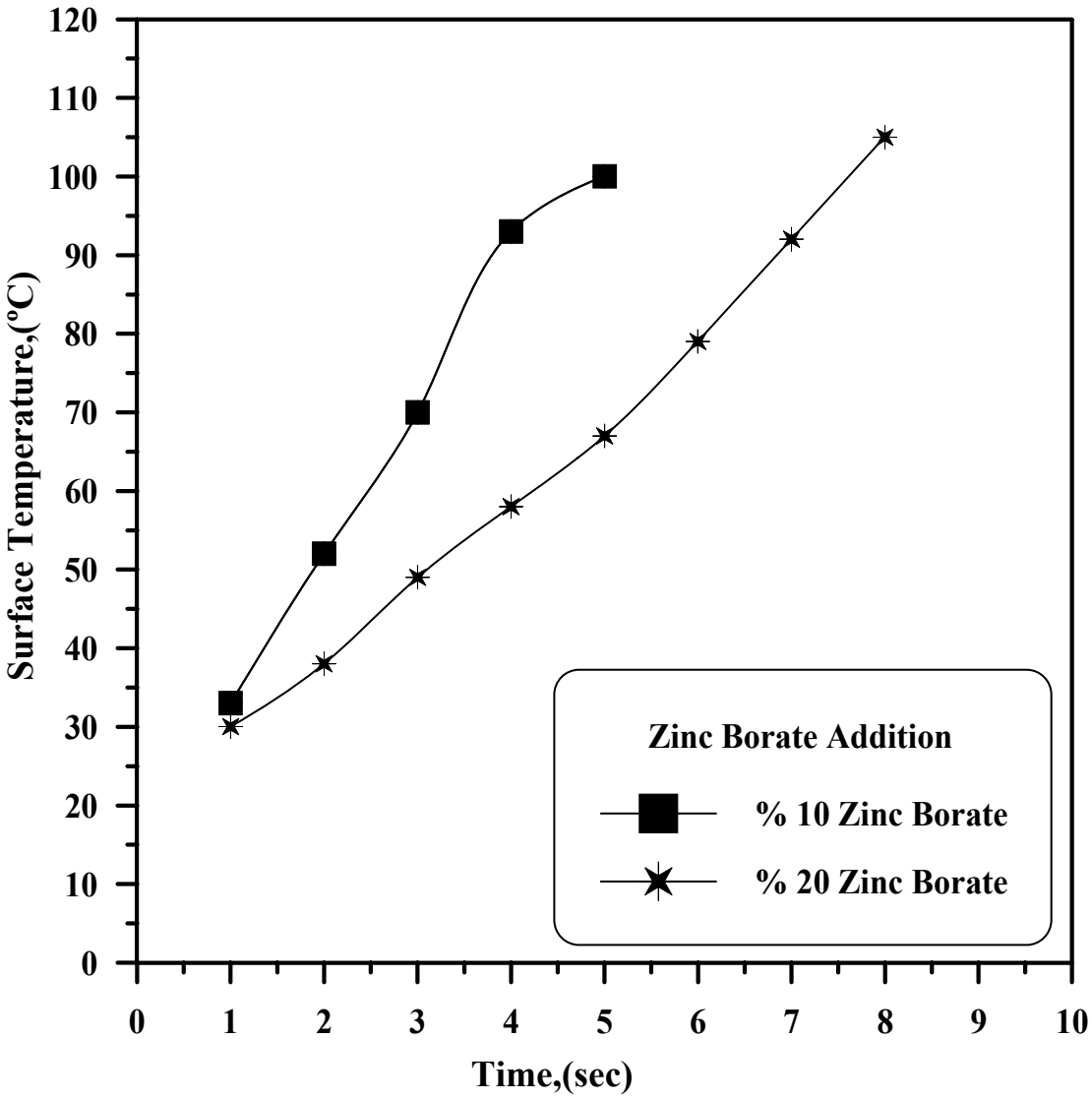
الشكل رقم (٦ – ٤)

تأثير مادة بورات الزنك على مقاومة أوكسيد الأنتيمون الثلاثي لإختبارالتعرية الحرارية بالشعلة الغازية (مسافة الإختبار20 mm)



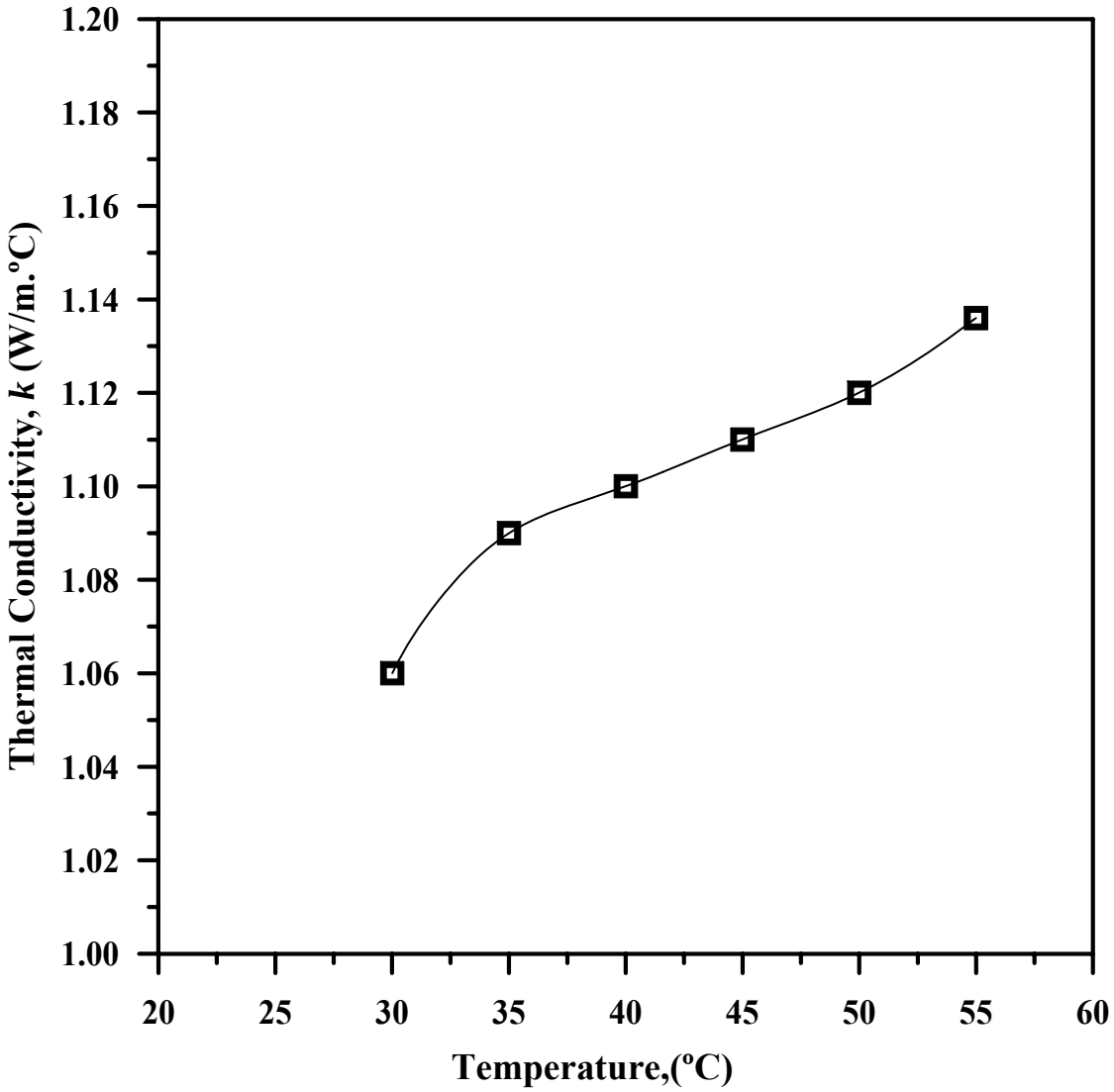
الشكل رقم (٧ – ٤)

تأثير مادة بورات الزنك على مقاومة أوكسيد الأنتيمون الثلاثي لإختبارالتعرية الحرارية بالشعلة ألاوكسي أستلينية (مسافة الإختبار15 mm)



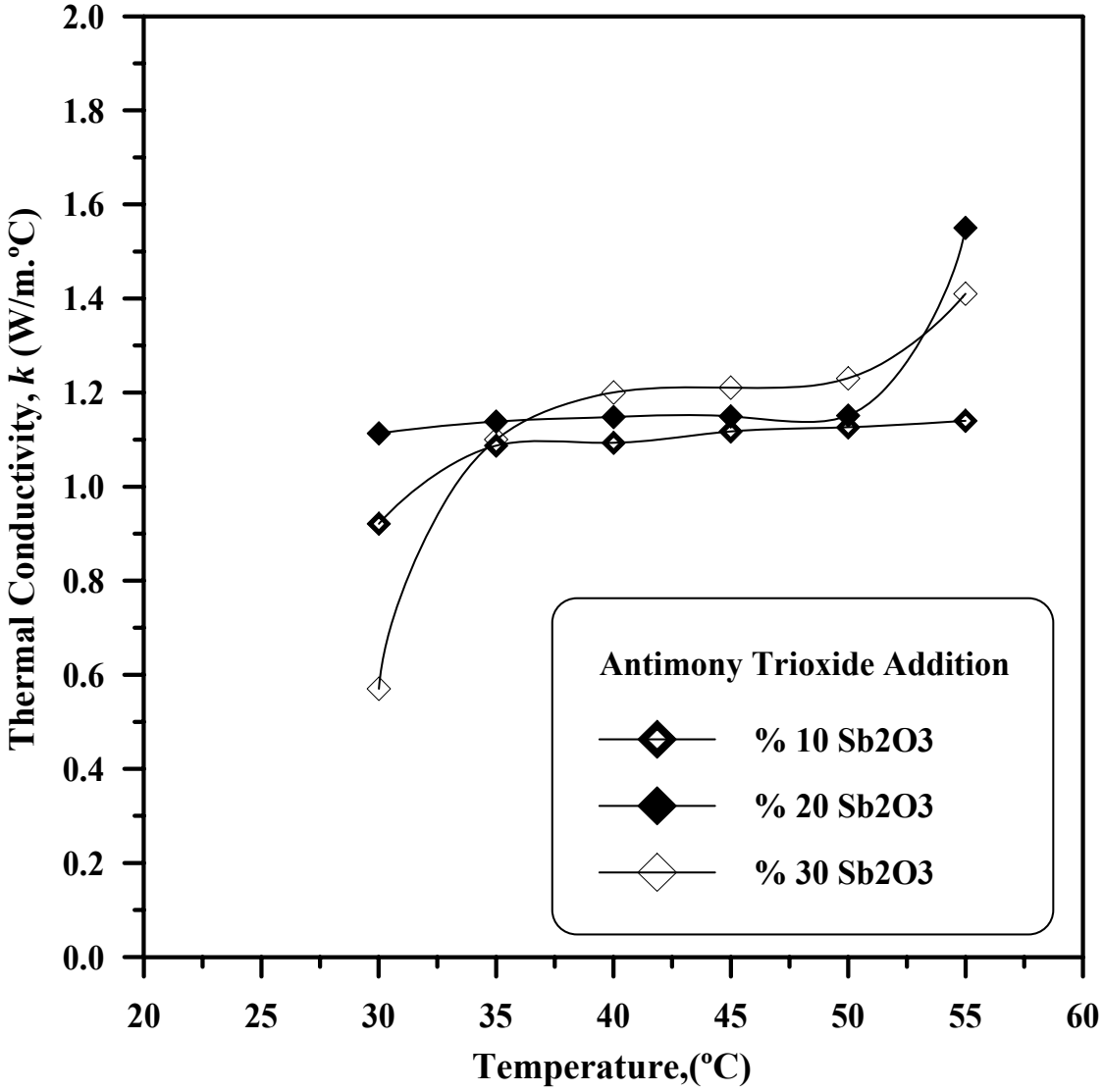
الشكل رقم (٨ – ٤)

تأثير مادة بورات الزنك على مقاومة أوكسيد الأنتيمون الثلاثي لإختبارالتعرية الحرارية بالشعلة ألاوكسي أستلينية (مسافة الإختبار20 mm)



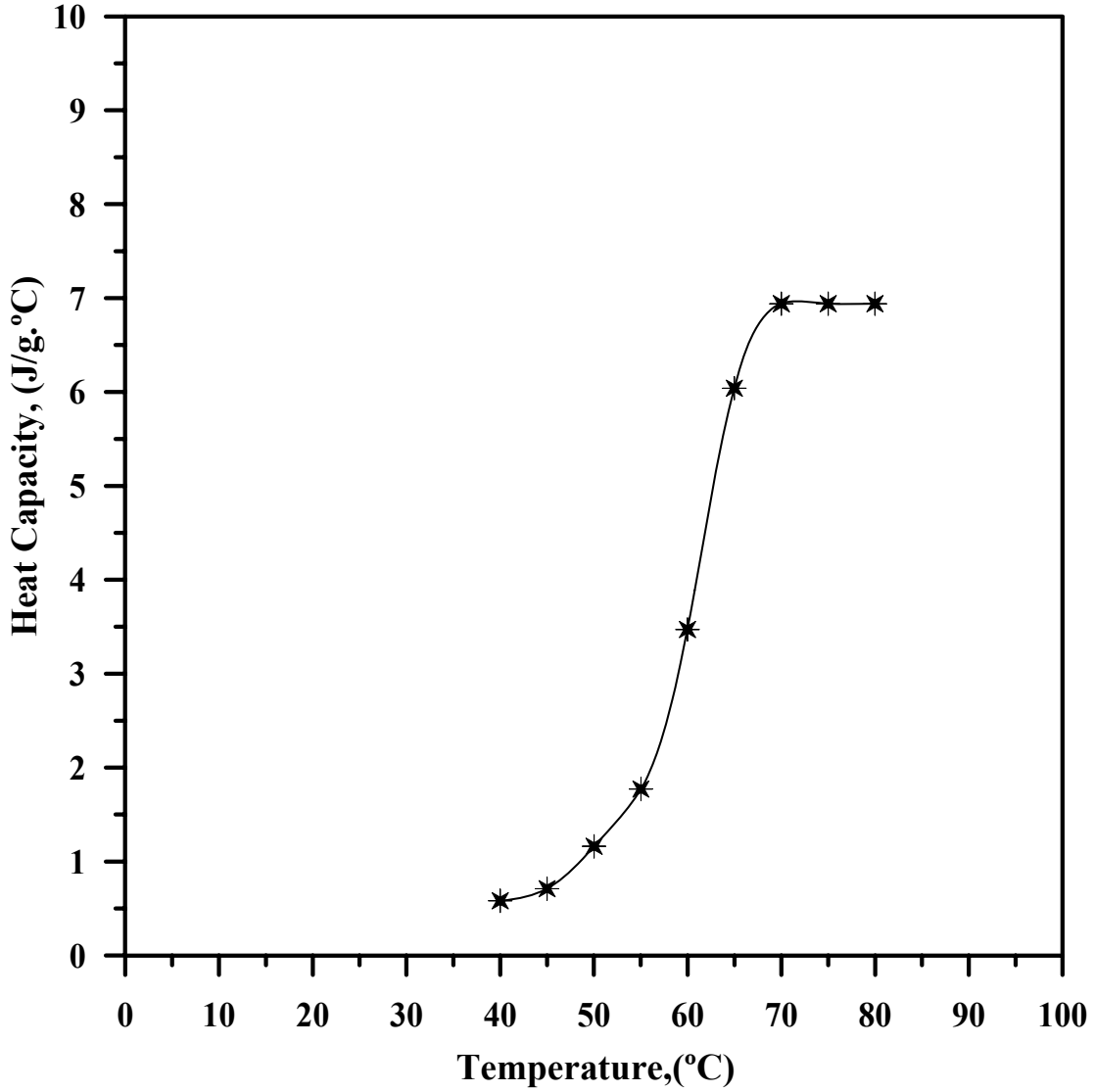
الشكل رقم (٩ – ٤)

المُوصِلية الحرارية لراتنج البولي أستر غير المشبع المقوى بألياف الزجاج العشوائية



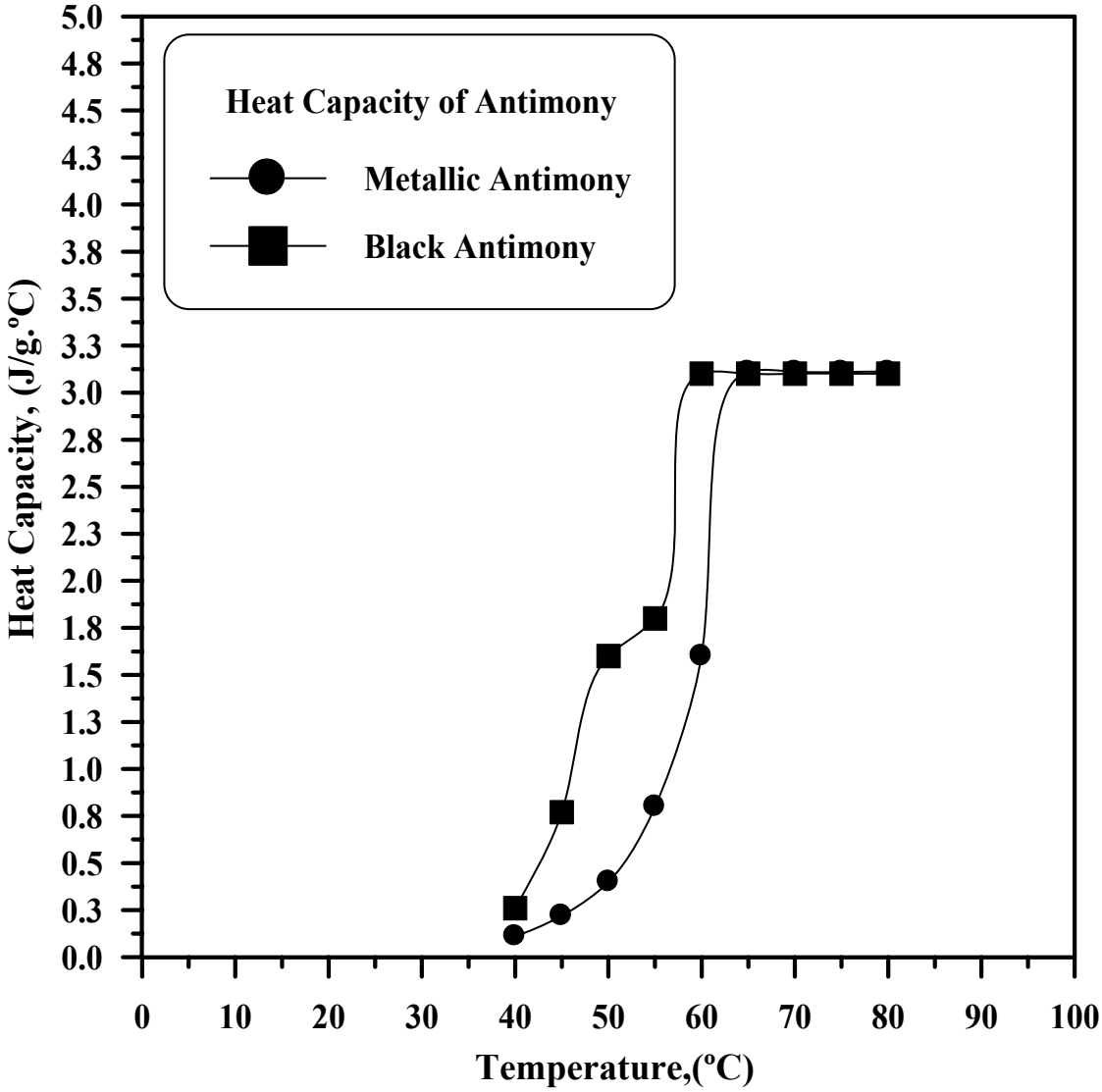
الشكل رقم (١٠ – ٤)

المُوصِلية الحرارية لراتنج البولي أستر غير المشبع المقوى بألياف الزجاج العشوائية مضافاً إليه مسحوق أوكسيد الأنتيمون الثلاثي بنسب مختلفة.



الشكل رقم (١١- ٤)

إختبار السعة الحرارية لمسحوق أوكسيد الأنتيمون الثلاثي.



الشكل رقم (١٢- ٤)

إختبار السعة الحرارية لمسحوق الأنتيمون المعدني ومسحوق الأنتيمون الأسود.

الفصل الخامس

المُنـاقَشَـة

5.1 – المُقدمـــَـــة (Ιντροδυχτιον).

إن آلية العزل الحراري تعتمد بالدرجة الأساس على طبيعة المادة الهندسية،في حين إن آلية إعاقة اللّهب لا تعتمد على درجات إنصهار المادة الأساس نفسها وإنما تعتمد على التحولات الطورية التي تحصل داخل المادة وكذلك تعتمد على المركبات التي تتكون بعد تعرض المادة المعيقة للّهب إلى الحرارة العالية .

فمثلاً تُشكل المواد السيراميكية عوازل حرارية جيدة بسبب رداءة توصيلها الحراري ولكنها ليست بالضرورة تقاوم اللّهب حتى لو كانت درجات إنصهارها عالية . أما المواد المعيقة للّهب فهي على العكس من ذلك فهي في درجات الحرارة الواطئة تعتبر من المواد المُوصِلة ولكنها في درجات حرارة اللّهب العالية تعتبر من العوازل الجيدة إضافة إلى مقاومتها لإنتشار اللّهب ، ومن هذه المواد أوكسيد الأنتيمون الثلاثي ، حيث يعتمد هذا الاوكسيد على التحولات الهيكلية التي تحصل في بنيته الداخلية نتيجة لإمتصاصه الطاقة الحرارية ، هذه التحولات تمكنه من مقاومة إنتشار اللّهب في حين هنالك مواد معيقة للّهب تعتمد في مقاومتها لإنتشار اللّهب على طرح مركبات تعمل على تبريد سطح المادة المتعرض للشعلة الحرارية وبالتالي يقل إنتشار اللّهب ومن هذه المواد بورات الزنك .

5.2 - إختبار التعرية الحرارية (Τηερμαλ Εροσιον Τεστινγ).

يمثل هذا الإختبار مقياساً لمدى مقاومة المادة لإنتشار اللّهب وكذلك تحديد صلاحيتها كمادة عازلة في هذه الدرجات العالية .

الشكل رقم (1-4) يمثل إختبار التعرية الحرارية بالشعلة الغازية على المادة العازلة والمعيقة للّهب وهي أوكسيد الأنتيمون الثلاثي وبمسافة تسليط للشعلة قدرها (5mm) حيث تبدأ درجة حرارة السطح الواقع خلف الشعلة الحرارية بالإرتفاع مع زيادة الفترة الزمنية لتسليط الشعلة .
أن هذه الزيادة في درجة حرارة السطح تقود إلى تقدم اللّهب داخل المادة المعيقة للّهب وإختراقه لها مسبباً إندفاع الحرارة الى الداخل مما ينتج عنه إنهيار المادة المعيقة للّهب مع مرور الزمن .

أما الشكل رقم (4-2) فيمثل إختبار التعرية الحرارية بالشعلة الغازية على أوكسيد الإنتيمون الثلاثي وبمسافة إختبار (10mm) حيث نلاحظ من هذا الشكل زيادة الفترة الزمنية لإنهيار المادة المعيقة للّهب مقرونة بإرتفاع درجة حرارة السطح الواقع خلف الشعلة الحرارية إلى حد أقل مما كان عليه في حالة كون المسافة (5mm) ، ويعود هذا السلوك إلى إنخفاض في كمية الحرارة التي تصل إلى أوكسيد الأنتيمون الثلاثي من الشعلة الحرارية بزيادة مسافة تسليط الشعلة مما يؤدي إلى تقليل إختراق الشعلة للعازل وبالتالي زيادة الفترة الزمنية لمقاومة إنتشار اللّهب .

الشكل رقم (4-3) يبين إختيارالتعرية الحرارية بالشعلة الغازية و الشعلةالاكسي أستلينية على أوكسيد الأنتيمون الثلاثي وبمسافة تسليط للشعلة الحرارية مقدارها (15mm) . فبالنسبة للشعلة الغازية فانه بزيادة مسافة تسليط الشعلة تزداد الفترة الزمنية لإنهيار المادة المعيقة للّهب مع زيادة درجة حرارة السطح وبشكل أقل مما في الحالات السابقة .

ولكن عند إرتفاع درجة حرارة إختيارالتعرية الحرارية إلى (3250ºC-3000ºC) ، وهي درجة حرارة الشعلة الاوكسي أستلينية نلاحظ زيادة سريعة جداً في إرتفاع درجة حرارة السطح الواقع خلف الشعلة مع فترة زمنية قليلة لإنهيار العازل رغم المسافة الكبيرة التي تفصل بين الشعلة والعازل ويرجع السبب في ذلك إلى إن الشعلة الاوكسي أستلينية تخترق المادة العازلة بشكل أكبر مما يؤدي إلى إندفاع الطاقة الحرارية داخل المادة العازلة بشكل كبير كذلك بسبب الحرارة العالية تحدث التغيرات الهيكلية داخل أوكسيد الإنتيمون الثلاثي بشكل أسرع مما يؤدي إلى تقليل الزمن اللازم لإنهيار المادة المعيقة للّهب وهي أوكسيد الانتيمون الثلاثي .

أما الشكل رقم (4-4) فيمثل إختبار التعرية الحرارية بالشعلة الغازية والشعلة الاوكسي أستلينية والمسلطة على أوكسيد الأنتيمون الثلاثي وبمسافة إختبار (20 mm) حيث نلاحظ زيادة الفترة الزمنية لمقاومة أوكسيد الأنتيمون الثلاثي بزيادة المسافة الفاصلة بينه وبين الشعلة الغازية . كذلك نلاحظ تحسن مقاومة الاوكسيد للشعلة الاوكسي أستلينية حيث أرتفع الوقت المقاوم لإنهيار أوكسيد الأنتيمون الثلاثي أي إرتفعت مقاومته للّهب وهذا يرجع إلى إنخفاض كمية الحرارة التي تصل الى المادة المعيقة للّهب وبالتالي زيادة مقاومتها لإختراق اللّهب .

إن سلوك أوكسيد الأنتيمون الثلاثي في مقاومة حرارة اللّهب التي تصل إلى أكثر من (3250ºC -3000ºC) على الرغم من درجة إنصهاره الواطئة (656ºC) يعود كما ذكرنا سابقاً إلى التغيرات الهيكلية التي تحدث في بنيته الداخلية حيث عند تسليط الشعلة الحرارية عليه يقوم بإمتصاص الطاقة الحرارية مسبباً تغيراً في هيكله الداخلي مما يؤدي إلى تحوله إلى أوكسيد الأنتيمون الرباعي . إن أوكسيد الأنتيمون الرباعي أيضاً يعتبر مادة معيقة للّهب ، وبإستمرار تسليط الشعلة الحرارية يمتص الاوكسيد الرباعي بدوره الطاقة الحرارية مما يتسبب في تفكيكه في النهاية إلى أوكسيد الأنتيمون الثلاثي مرة ثانية . وتستمر هذه العملية بالحصول كلما تقدم اللّهب وإخترق طبقة من طبقات الاوكسيد الثلاثي والتي تكون بسُمكْ (2mm) .

ان مقاومة المادة المعيقة للّهب للتعرية الحرارية يمكن أن تتحسن بثلاث طرق هي :-

١- زيادة مسافة تسليط الشعلة الحرارية التي تقلل من حرارة اللّهب الواصلة إلى طبقة المادة المعيقة للّهب مما يؤدي بدوره إلى تقليل إختراق الشعلة الحرارية للمادة المعيقة للّهب ، وهذا الشيء لاحظناه بشكل واضح من خلال الأشكال السابقة .

٢- زيادة سُمكْ الطبقة العازلة المعيقة للّهب ، وهذا الشيء غير مرغوب فيه في بعض التطبيقات الصناعية والتي تكون لها أبعاد محددة لا يمكن تغيرها .

٣- إضافة مواد لها القابلية على زيادة مقاومة المادة العازلة والمعيقة للّهب للتعرية الحرارية وكمثال على هكذا مواد هي مادة بورات الزنك والتي تعتبر بدورها مادة معيقة للّهب .

الشكل رقم (5-4) يوضح تأثير إضافة مادة بورات الزنك على مقاومة أوكسيد الأنتيمون الثلاثي لإختبار التعرية الحرارية بالشعلة الغازية والمسلطة بمسافة (10mm) حيث نلاحظ إنه بإضافة (10%) من مادة بورات الزنك تزداد مقاومة أوكسيد الأنتيمون الثلاثي للّهب ،حيث تزداد الفترة الزمنية لإنهيار العازل ، إن هذه المقاومة تزداد إلى الضعف تقريباً بإضافة (20%) من مادة بورات الزنك.

إن السبب في هذا التحسن في مقاومة إنتشار اللّهب يرجع إلى إن مادة بورات الزنك تحتوي في تركيبها الداخلي على الماء فعند إرتفاع درجة الحرارة تبدأ بطرح هذا الماء إلى الخارج مما يؤدي إلى تبريد السطح المتعرض للّهب وأيضاًتعمل بورات الزنك على تكوين طبقة زجاجية تحمي الطبقة السفلية من اللّهب ، إضافة إلى إمتصاصها للحرارة وهذا يؤدي إلى إرتفاع مقاومة أوكسيد الأنتيمون الثلاثي للّهب وتزداد هذه المقاومة بزيادة نسبة بورات الزنك المضافة .

كذلك يمكن زيادة مقاومة أوكسيد الأنتيمون الثلاثي للّهب بزيادة مسافة تسليط الشعلة إضافة إلى وجود بورات الزنك المضافة إليه وهذا واضح من الشكل رقم (6-4) الذي يمثل أيضاً تأثير مادة بورات الزنك على مقاومة أوكسيد الأنتيمون الثلاثي لإختبار التعرية الحرارية بالشعلة الغازية وبمسافة إختبار قدرها (20 mm) ، حيث نلاحظ زيادة الفترة الزمنية لإنهيار المادة المعيقة للّهب بسبب إنخفاض في حرارة اللّهب التي تصل الى المادة المعيقة للّهب إضافة إلى وجود مادة بورات الزنك التي تبدأ بطرح الماء الذي يبرد السطح المعرض للّهب وتكوين الطبقة الزجاجية الحامية .

الشكل رقم (7-4) يبين تأثير مادة بورات الزنك على مقاومة أوكسيد الأنتيمون الثلاثي لإختبار التعرية الحرارية عند تسليط الشعلة الاوكسي أستلينية عليه وبمسافة إختبار قدرها (15mm) حيث نلاحظ تحسن واضح في مقاومة أوكسيد الأنتيمون الثلاثي للّهب بمقدار الضعف عما كان عليه قبل إضافة بورات الزنك إليه وتزداد هذه المقاومة بزيادة نسبة بورات الزنك المضافة .

كذلك تزداد مقاومة أوكسيد الأنتيمون الثلاثي للّهب بزيادة المسافة التي تفصله عن الشعلة الحرارية وهذا واضح في الشكل رقم (8-4) والذي يمثل تأثير مادة بورات الزنك على مقاومة الاوكسيد الثلاثي لإختبار التعرية الحرارية بالشعلة الاوكسي أستلينية وبمسافة إختبار قدرها (20mm) حيث نلاحظ زيادة واضحة في مقاومة أوكسيد الأنتيمون الثلاثي لإنتشار اللّهب بزيادة نسبة بورات الزنك المضافة إضافة إلى زيادة مسافة تسليط الشعلة .

5.2 - إختبار المُوصِلية الحرارية (Τηερμαλ Χονδυχτιωιτψ Τεστ).

أُجريَ هذا الإختبار لمعرفة مدى فعالية أُوكسيد الأنتيمون الثلاثي على العزل الحراري أو التوصِيل الحراري في درجات الحرارة الواطئة .

الشكل رقم (9-4) يمثل المُوصِلية الحرارية لراتنج البولي أستر غير المشبع المقوى بألياف الزجاج العشوائية قبل إضافة أُوكسيد الأنتيمون الثلاثي إليه ، حيث تبدأ المُوصِلية الحرارية للمادة المركبة بالإرتفاع مع زيادة درجة الحرارة حيث تعمل ألياف الزجاج على زيادة التوصيل الحراري لراتنج البولي أستر غير المشبع . إن هذه الزيادة في التوصيل الحراري ترجع إلى قابلية الألياف للتوصيل الحراري مقارنة مع المادة الاساس .

أما الشكل رقم (10-4) فيمثل المُوصِلية الحرارية لراتنج البولي أستر غير المشبع المقوى بألياف الزجاج العشوائية مضافاً إليه أُوكسيد الأنتيمون الثلاثي بنسب مختلفة حيث تبدأ المُوصِلية الحرارية بالإرتفاع ويرجع السبب في هذا السلوك إلى كون أُوكسيد الأنتيمون الثلاثي مادة موصلة في درجات الحرارة الواطئة حيث يعمل إلى جانب الألياف الزجاجية على زيادة التوصيل الحراري لراتنج البولي استر غير المشبع .

كما نلاحظ من الشكل إن المُوصِلية الحرارية لراتنج البولي أستر غير المشبع المقوى بألياف الزجاج العشوائية المضاف إليه أُوكسيد الأنتيمون الثلاثي بنسبة (10%) عند درجة حرارة(30ºC) هي أعلى مما هو الحال عند إضافة (20%) و(30%) من الأُوكسيد المذكوروالموصلية الحرارية عند نسبة أُوكسيد(20%) هي أعلى من والموصلية الحرارية عند نسبة أُوكسيد (30%) عند درجة حرارة(30ºC) أيضاً .

لكن بعد هذه الدرجة تبدأ بالإرتفاع ، حيث تصبح الموصلية الحرارية عند نسبة(30%) هي أعلى من الموصلية الحرارية عند نسبة أُوكسيد(20%) وهكذا، ويعود السبب في ذلك إلى إن الحرارة التي تمر داخل المادة المركبة تصطدم بحبيبات أُوكسيد الأنتيمون الثلاثي التي تبدأ بإمتصاص الحرارة وهذا الإمتصاص يؤدي إلى خفض مرورالحرارة خلال المادة مما يقلل من الموصلية

الحرارية ولكن بعد فترة من الزمن وبإرتفاع درجة الحرارة تبدأ هذه الحبيبات بالإهتزاز نتيجة لإرتفاع درجة حرارتها ، هذا الإهتزاز يسبب إندفاع الحرارة خلال المادة المركبة مما يؤدي إلى إرتفاع موصليتها الحرارة. إمتصاص حبيبات أوكسيد الأنتيمون الثلاثي للحرارة يزداد بزيادة نسبتها داخل المادة المركبة وهذا يؤدي إلى تقليل الموصلية الحرارية ولكن عند إرتفاع درجة حرارتها تصبح موصل جيد للحرارة .

5.3 - إختبار السعة الحرارية (Τεστ Ηεατ Χαπαχιτψ) .

الشكل رقم (4-11) يمثل السعة الحرارية لمسحوق أوكسيد الأنتيمون الثلاثي حيث يبين هذا الشكل زيادة في السعة الحرارية للاوكسيد بزيادة درجة الحرارة إلى أن نصل إلى ثبوت في السعة الحرارية والتي عندها يتوقف إمتصاص الاوكسيد للحرارة والقيمة التي يثبت عندها إمتصاص الحرارة تعتبر السعة الحرارة للاوكسيد الثلاثي .

أما الشكل رقم (4-12) فيبين السعة الحرارية لكل من مسحوق الأنتيمون المعدني ومسحوق الأنتيمون الأسود حيث يوضح الشكل إرتفاع السعة الحرارية بإرتفاع درجة الحرارة إلى أن نصل إلى ثبوت في قيمتها والذي يعني توقف المادة عن إمتصاص الحرارة ، كما إن الشكل يوضح إن قيمة السعة الحرارية لاوكسيد الأنتيمون الثلاثي هي أكبر بمقدار الضعف مما هي عليه في الأنتيمون المعدني والأنتيمون الأسود . وهذا الشيء يدل على إن الحرارة اللازمة لتسخين الأنتيمون هي أقل من الحرارة اللازمة لتسخين أوكسيده ويعود السبب في ذلك إلى إختلاف التركيب الهيكلي لهما وكذلك الإختلاف في درجات إنصهارهما .

5.4 - الإستنتاجـــات (Χονχλυσιονσ).

من خلال النتائج التي تم الحصول عليها يمكن الخروج بعدد من الإستنتاجات وهي :-

١- المقاومة العالية لطبقة أُوكسيد الأنتيمون الثلاثي لإختبار التعرية الحرارية وكما هو واضح في مخططات الإختبار على الرغم من درجة إنصهار الأكسيد المنخفضة ويرجع السبب في ذلك إلى التغيرات الطورية التي تحدث داخل البناء الهيكلي للأوكسيد ، وتزداد هذه المقاومة بزيادة المسافة الفاصلة بين الأوكسيد والشعلة الحرارية المسلطة.

٢- زيادة مقاومة المادة المركبة المكونة من راتنج البولي أستر غير المشبع المقوى بألياف الزجاج العشوائية للحرارة بحوالي عشرة أضعاف قيمتها عن طريق إستخدام تقنية الطلاء بطبقة من المادة المعيقة للّهب وهي مسحوق أُوكسيد الأنتيمون الثلاثي.

٣- تحسُنْ مقاومة أُوكسيد الأنتيمون الثلاثي لإنتشار اللّهب بإضافة مادة بورات الزنك إليه وهذه المقاومة تزداد بزيادة نسبة بورات الزنك المضافة .

٤- إمكانية إستعمال أُوكسيد الأنتيمون الثلاثي كمادة موصلة في درجات الحرارة الواطئة بسبب موصليته للحرارة .

5.5– التـوصيـات (Ρεχομμενδατιον).

١- إستخدام طريقة الإنتشار (Diffusion) في تكوين طبقة عازلة مقاومة من أُوكسيد الأنتيمون الثلاثي على سطح المادة المراد حمايتها .
٢- تكوين طبقة عازلة من أُوكسيد الأنتيمون الثلاثي على سطح المعادن بواسطة الطلاء الكهربائي ودراسة كفاءتها وأيضاً مدى إلتصاقها بسطح المعدن .

٣- إضافة مادة هالوجينية ذات أساس من البروم أو الكلور إلى أوكسيد الأنتيمون الثلاثي ودراسة تأثيرها على الاوكسيد من حيث العزل الحراري وإعاقة اللّهب .

٤- تحضير وتصنيع مادة معيقة للّهب مكونة من أوكسيد الأنتيمون الخماسي (Sb_2O_5) .

المصادر

١- المهندس عدنان ريكان موسى ، المهندس حيان عبد الغني عبد الزهرة " *مبادئ التبريد والتكييف* "،دار الحكمة للطباعة والنشر- الموصل، ١٩٩٠ .

2- د. أكرم عزيز محمد "*كيمياء اللدائن* " ، دار الكتب للطباعة والنشر - الموصل ، ١٩٩٣ .

3-Cynthia A.dewit " *Brominated Flame Retardants* ", Swedish Environmental protection Agency ,2000.

4-European Flame Retardants Association " *Flame Retardant Fact Sheet, Antimony Trioxide*", 2002.

5-Jürgen H.Troitzsch " *overview of Flame Retardants* " , Chimica Oggi/chemistry Today , Volume 16, January/February 1998 .

6- Ampacet Company " *Flame Retardants* " , 2002.

7-Danish Environmental protection Agency " *Brominated Flame Retardants* ", Environmental project no 494, 1999 .

8- Chemical Land21 Company " *Zinc Borate* ", Korea,2000. (www. Chemical Land21.com).

9- D.E.C.Corbridge " *Phosphorus An outline of Its Chemistry , Biochemistry and Technology* ", Second Edition, Elsevier Company,1980.

10- Heinrich Horacek and Stefan pieh " *The Importance of Intumescent Systems for Fire protection of plastic Materials* ", polymer International ,49,2000.

11- H. Horacek and R.Grabner " *Advantages of Flame Retardants Based on Nitrogen Compunds* ", Degradation and Stability 54,1996.

12- H. Remy " *Treatise on Inorganic Chemistry* ", Fifth Reprint, Elsevier publishing company, 1967 .

13- G.D.Parkes and M.A.,D.phil " *Mellor's Modern Inorganic Chemistry* ", 1952 .

14- R. Hum " *Chemistry for Engineering Students* ", Fifth Impression, Charles Griffin & company, Limited . 1946 .

١٥- د. يحيى نوري الجمال "*فيزياء الحالة الصلبة* " دار الحكمة للطباعة والنشر ، الموصل ، ١٩٩٥ .

16- Digitalfire Corporation " *Digitalfire Oxide Database* ", Canada, 2001 .

17- P.J. Durrant " *General and Inorganic Chemistry* ", Second Edition, Longmans- Green & co. Ltd, 1959.

18- Agency for Toxic Substances and Disease Registry U.S.Public Health Service" *Toxicological Profile for Antimony and Compounds* ",September,1992.(www.atsdr.cdc.gov).

19- Therad Moeller " *Inorganic Chemistry An Advanced Textbook* ", Tenth Printing, John Wiley &Sons,Inc.1963.

20- Edward A.Myszak, Jr. and Michael T.sobus " *Flame Retardant Developments For polypropylene* " Nyacol Nano Technologies, Inc. 2000.

21-Chemserve Company Limited " *Antimony Trioxide* ", 2000. (www.chemserve.com).

22- U.S. Environmental protection Agency " *Revised Antimony Oxide Listing Background Document for the Inorganic Chemical Listing Determination* ",June,2001.

٢٣- د. مهدي ناجي الزكوم ، د. عصام جرجيس سلومي ، د. كاظم العبيدي ، د. حسيب عبد الواحد اوغسطين "*الكيمياء اللاعضوية - كيمياء العناصر الممثلة* " جامعة الموصل ، ١٩٨٢ .

٢٤- علي هوبي حليم،"*تحسين خواص المواد اللدائنية المقساة* "، رسالة ماجستير، جامعة بابل، ١٩٩٩.

٢٥- د. عبد الفتاح محمود طاهر "*أساسيات علم وتقنية البلمرات* " دار المريخ للنشر ، الرياض - المملكة العربية السعودية ، ٢٠٠٠ .

26-*e*funda Engineering Fundamentals " *Polymer Material Properties* ",2001. (www.efunda.com).

27- Huy K. 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 110440 , April 1997.

28- Walter Brenner , Dorey Lum,and Malcolm W.Riley " *High Temperature Plastics* ", Second Printing , Reinhold Puplishing,1964.

29- E.P.DeGarmo, J.T. Black, and R.A. kohser " *Materials and processes in Manufacturing* " , Eighth Edition , john Wiley & Sons , 1999 .

٣٠- د. برهان محمود العلي ، أحمد نجم الصبحة ، بهجت مجيد مصطفى "*أساسيات إنتقال الحرارة* "جامعة الموصل ، ١٩٨٨ .

31- Craig W. ohlhorst Wallace L. Vaughn, philip O. Ransone, and Hwa-Tsu Tsou " *Thermal Conductivity Database of Various Structure Carbon-Carbon Composite Materials* ",NASA Technical Memorandum 4787, November 1997.

32- F.P.Incropera and D.P.DeWitt " *Introduction to Heat Transfer* ",Third Edition, John Wiley &Sons. 1996.

33- R.H.Parker " *An Introduction to Chemical Metallurgy* ", Second Edition, Pergamon Press,1978.

34- N. Selivanova and I. Ruzavin " *Inorganic Chemistry* ", Mir publishers, Moscow, 1969 .

35- Jeffry Bartlett " *Colloidal Antimony Pentoxide in Flame Retardant ABS* ", Fire Retardants Chemicals Association,1997.

36- Edward A.Myszak " *Use of Submicro Inorganic Flame Retardants in Polymeric Systemic* ", Nyacol Nano Technologies, Inc. 2000.

37- Marcus Langley " *Carbon Fibers in Engineering* ", McGraw-Hill Book Company Ltd,1973.

38- George Lubin " *Handbook of Fiberglass and Advanced Plastics composite* ", First Edition , 1975.

39- Gregory C. Demitras, Charles R. Russ, James F. Salmon, James H. Weber and, Gerald S. Weiss " *Inorganic Chemistry* ", prentice - Hall Inc, 1972 .

40- Lawrence E. Doyle, Carl A. keyser, James L.Leach, George F. Schrader, and Morse B. Singer " *Manufacturing processes and Materials for Engineering*" , Third Edition, prentice - Hall, Inc. 1985 .

41- Marlene C.Morris, Howard F.McMurdie, Eloise H.Evans, Johan deGroot, and Boris Paretzkin " *Powder Diffraction Data* ",First Edition, JCPDS Associateship at the National Bureau of Standards,1976.

42- عادل محمد سويلم " *اللدائن ماهيتها - أنواعها - طرق تصنيعها - تشغيلها* " ، الطبعة الأولى ، دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع ، ١٩٩٤ .

43- Yunus A. çengel and Michael A. Boles " *Thermodynamics, An Engineering Approach* ", Third Edition, 1998 .

44- Edward A.Myszak, Jr. and Michael T.sobus " *Flame Retardant Developments For polypropyle*ne " Nyacol Nano Technologies, Inc. 2000.

٤٥- د. فواز الديري " *الجزيئات الضخمة والصناعات البلاستيكية* " منشورات جامعة دمشق ، ١٩٩٦ .

46- Edward A.Myszak, Jr. and Michael T.sobus " *New Generation of Inorganic Colloids for Flame Retardancy and UV Stabilization of Polymers* " , Nyacol Nano Technologies, Inc. 2000.

47- Bromine Science and Environmental Forum " *An Introduction to Brominated Flame Retardants* ",19 October,2000.

48- T. Michael Duncan and Jeffrey A. Reimer " *Chemical Engineering Design and Analysis An Introduction* " , Cambridge university press, 2001 .

49- F.Rondeaux , ph. Bredy and J.M.Rey " *Thermal Conductivity Measurements of Epoxy Systems at Low Temperature* " , Cryogenic Engineering Conference (CEC), USA, July 16-20,2001.

50-Sangeeta Nangia " *Behavior of polyester Resin Composite (Mechanical properties) at Elevated Temperature* " , TIFAC,2002.

٥١-International Labour Organization " *Antimony Trioxide* ", International Occupational Safety and Health Information Center(CIS),2002.

التسلسل	عنوان الشكل	الصفحة
١-١	العوامل المؤثرة على الموصلية الحرارية للمادة العازلة	٣
٢-١	أنواع الأنتيمون	٢٠
٢-٢	التركيب الكيمياوي لاوكسيد الأنتيمون الثلاثي(Sb_2O_3)	٢٢
٢-٣	أوكسيد الأنتيمون الثلاثي	٢٣
٢-٤	الطريقة غير المباشرة لإستخلاص أوكسيد الأنتيمون الثلاثي	٢٥
٢-٥	الطريقة المباشرة لإستخلاص أوكسيد الأنتيمون الثلاثي	٢٥
٢-٦	إختبار التعرية الحرارية	٣٢
٢-٧	طرق حساب قدرة المادة على مقاومة حرارة اللّهب	٣٢
٢-٨	مدى الموصلية الحرارية لعدد من المواد عند ضغط ودرجة حرارة إعتياديين	٣٤
٢-٩	جهاز قياس الموصلية الحرارية	٣٥
٢-١٠	حساب قيمة التدرج الحراري $(\Delta T/\Delta X)$.	٣٦
٢-١١	جهاز قياس السعة الحرارية	٣٨
٣-١	فحص الأشعة السينية لاوكسيد الأنتيمون الثلاثي	٤٣
٣-٢	التركيب الكيمياوي لراتنج البولي أستر غير المشبع	٤٤
٣-٣	شكل تخطيطي لعينة إختبار التعرية الحرارية	٤٦
٣-٤	القالب المستخدم في تصنيع نماذج إختبار التعرية الحرارية	٤٧
٣-٥	عينة إختبار التعرية الحرارية	٤٨
٣-٦	القالب المستخدم في تصنيع نماذج إختبار الموصلية الحرارية	٤٩
٣-٧	عينات إختبار المُوصِلية الحرارية	٤٩
3-8	العينات المختبرة بالشعلة الغازية والشعلة ألاوكسي أستلينية لمادة أوكسيد الأنتيمون الثلاثي قبل إضافة مادة بورات الزنك	٥١

٣-٩	العينات المختبرة بالشعلة الغازية والشعلة ألاوكسي أستلينية لمادة أوكسيد الأنتيمون الثلاثي بعد إضافة مادة بورات الزنك.	٥١
٤ -١	إختبار التعرية الحرارية بالشعلة الغازية لإوكسيد الأنتيمون الثلاثي (مسافة الإختبار 5mm)	٥٤
٤ – ٢	إختبارالتعرية الحرارية بالشعلة الغازية لإوكسيد الأنتيمون الثلاثي (مسافة الإختبار 10mm)	٥٥
٤ – 3	إختبارالتعرية الحرارية بالشعلة الغازية و الشعلة الاوكسي أستلينية لإوكسيد الأنتيمون الثلاثي(مسافة الإختبار 15mm)	٥٦
٤ – 4	إختبارالتعرية الحرارية بالشعلة الغازية و الشعلةالاوكسي أستلينية لإوكسيد الأنتيمون الثلاثي(مسافة الإختبار 20mm)	٥٧
٤ – ٥	تأثير مادة بورات الزنك على مقاومة أوكسيد الأنتيمون الثلاثي لإختبارالتعرية الحرارية بالشعلة الغازية (مسافة الإختبار 10 mm)	٥٨
٤ – ٦	تأثير مادة بورات الزنك على مقاومة أوكسيد الأنتيمون الثلاثي لإختبارالتعرية الحرارية بالشعلة الغازية (مسافة الإختبار 20 mm)	٥٩
٤ – ٧	تأثير مادة بورات الزنك على مقاومة أوكسيد الأنتيمون الثلاثي لإختبارالتعرية الحرارية بالشعلة ألاوكسي أستلينية (مسافة الإختبار 15 mm)	٦٠
٤ – ٨	تأثير مادة بورات الزنك على مقاومة أوكسيد الأنتيمون الثلاثي لإختبارالتعرية الحرارية بالشعلة ألاوكسي أستلينية (مسافة الإختبار 20 mm)	٦١
٤ – ٩	الموصلية الحرارية لراتنج البولي أستر غير المشبع المقوى بألياف الزجاج العشوائية	٦٢
٤ – ١٠	الموصلية الحرارية لراتنج البولي أستر غير المشبع المقوى بألياف الزجاج العشوائية مضافاً إليه أوكسيد الأنتيمون الثلاثي بنسب مختلفة	٦٣
٤ -١١	السعة الحرارية لمسحوق أوكسيد الأنتيمون الثلاثي	٦٤
٤ -١٢	السعة الحرارية لمسحوق الأنتيمون المعدني والأنتيمون الأسود	٦٥

Αβστρακτ

Due to the increasing important to search about materials which have the capability to limit from hazard and losses caused by fires and also search about materials have the ability to resistant generated flame from fires and in the same time acts as an insulator material so, this study introduced a material combined between these characteristics , this material is antimony trioxide (Sb_2O_3).

In the present study , the preparation method of antimony trioxide and its thermal and physical properties were expressed ,as well as described the manufacturing method to form insulation layer from this oxide as a thickness of coating layer (2mm) , paste on the composite material consist from unsaturated polyester resin and glass fibers which acts as a paste and hold material to the insulation and flame retardant oxide.

Several thermal tests were done to evaluate the performance of the antimony oxide efficiency to thermal insulation and flame retardancy,these tests are erosion test , thermal conductivity at low temperature and heat capacity test.

The result obtained from erosion test done at (2000°C) and (3000°C-3250°C) were showed that the antimony trioxide efficiency of as a flame retardant material and in the same time its efficiency in the thermal insulation at high temperature.

The results obtained from thermal conductivity test were indicated that antimony trioxide was a conductive material at low temperature.

The result obtained from heat capacity test showed that antimony trioxide have more heat capacity from antimony.

This study also indicated the possibility of improving thermal properties of antimony trioxide by addition zinc borate which able to prevent flame spread and increasing efficient of Sb_2O_3 to flame and thermal insulation.