مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (38) العدد (2) 2016
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (38) No. (2) 2016

تأثير استخدام الأكاسيد المعدنية (Al2O3, MgO ,TiO2) على إعاقة ومقاومة اللهب للبولي استر غير المشبع

الدكتورة لطيفة الحموي*[1]
الدكتور سليمان علي **
رؤيا نعمان ***

(تاريخ الإيداع 10 / 12 / 2015. قُبِل للنشر في 9/ 5 / 2016)

□ ملخّص □

في هذا البحث تم إجراء دراسة تجريبية لعينات من البولي استر غير المشبع مضاف إليها نسب محددة ضئيلة (2,4,5,7%) من أكاسيد المغنزيوم والألمنيوم و التيتانيوم على شكل بودرة بهدف تحديد مدى مقاومتها وإعاقتها للهب، وذلك من خلال قياس الزمن المستغرق لثقب العينات، وقياس الفقد في الوزن والتغير في القطر للعينات بعد الحرق ودراسة تأثير اللهب على سطح العينات. و لإجراء الاختبارات تم استخدام شعلة لهب الأكسي استلين وصمم لهذه الغاية جهاز تم تصنيعه في مخابر الكلية.

بّينت النتائج أن مادة أكسيد المغنزيوم هي الأفضل بين الأكاسيد المستخدمة من حيث مقاومتها للهب وإعاقتها له حيث بلغت نسبة الفقد في وزن العينات حوالي 16% عند أعلى نسبة إضافة مستخدمة في البحث وهي 7% مقارنة مع العينات التي لا تحوي مواد إضافة والتي بلغت نسبة الفقد فيها حوالي 27% كما أن زمن ثقب مثل هذه العينات بلغ حوالي 112sec مقارنة مع العينات بدون نسبة إضافة والتي بلغ فيها زمن الثقب حوالي 45 sec.

الكلمات المفتاحية: إعاقة اللهب، مواد بولميرية، أكاسيد معدنية.

[1] * أستاذ مساعد – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.
**مدرس – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.
***طالبة ماجستير – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية– جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (38) العدد (2) 2016
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (38) No. (2) 2016

Effect of Using Metallic Oxides (Al2O3,MgO,TiO2) on Flammability and Fire Resistance of Unsaturated Polyester

Dr. Latifa al- Hamwi [2]*
Dr. Suleiman Ali **
Ro'yia Noman ***

(Received 10 / 12 / 2015. Accepted 9 / 5 / 2016)

□ ABSTRACT □

In this paper an experimental investigation of unsaturated polyester(UPR) with different weight fractions(2,4,5,7)wt% of (Al2O3,MgO,TiO2) as powders ,has been done. the identification of their flammability and fire resistance ranges are found out . the time needed to puncture the samples, the mass loss, the diameter variation ,and the flame effect on the samples surface are measured. the samples were tested by Oxyacetylene flame using a device which is designed in the Faculty of Mechanical and Electrical Engineering labs.

The results showed that (MgO) is the best one for its flammability and fire resistance. The longest time before puncture , and the lowest mass loss were achieved by(UPR+ 7% MgO) with(16% mass loss in 112 sec), while pure UPR has (27% mass loss in 45 sec).

Keywords: flame retardant , polymeric Material, Metallic Oxides.

[2] ***Associate Professor; Faculty of Mechanical & Electrical Engineering; Tishreen University; Lattakia: Syria.**
**** Assistant Professor; Faculty of Mechanical & Electrical Engineering; Tishreen University; Lattakia: Syria.**
*****Master student; Faculty of Mechanical & Electrical Engineering; Tishreen University; Lattakia: Syria.**

مقدمة :

تعتبر البوليمرات مواد لها قابلية عالية نسبياً للاحتراق بسبب التركيب الكيميائي المتكون بشكل أساسي من الكربون والهيدروجين .

إن عملية الاحتراق تتعلق بعاملين أساسيين :

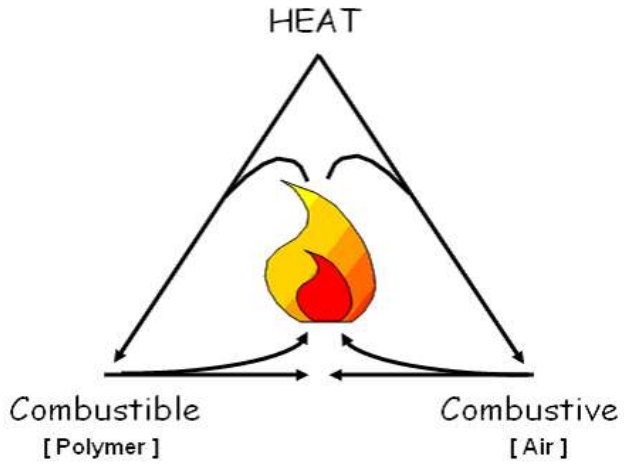
1- عوامل مختزلة (Reducing Agent)

2- عوامل مؤكسدة (Oxidizing Agent)

عادة العوامل المؤكسدة هي الأكسجين الموجود في الجو ، حيث إن كل العملية تبدأ عندما ترتفع درجة حرارة البوليمر المعرض لمصدر حراري إلى المدى الذي تتحطم فيه الروابط في البوليمر وينتج عن ذلك مواد تتطاير إلى الهواء مشكلة خليطاً غازياً قابلاً للاحتراق ، هذا الخليط يشتعل عند طاقة تنشيط معينة تسمى (درجة حرارة الإيقاد الآلية) مؤدياً لانبعاث الحرارة ، و يمكن أن يشتعل هذا الخليط عند درجة حرارة أقل بوجود مصدر حراري خارجي (شرارة أو لهب) .

تعتمد مدة دورة الاحتراق على كمية الحرارة المتحررة أثناء الاشتعال وعندما تصل كمية الحرارة المتحررة إلى مستوى معين فإن مستويات جديدة من التفكك ستحصل في العينة وهذا يؤدي لإنتاج مواد وغازات قابلة للاحتراق أكثر [1] .

وبالتالي فإن دورة الاحتراق تمثل بما يدعى مثلث الاشتعال الذي يوضحه الشكل (1)



الشكل (1) – عناصر دورة الاحتراق

يمكن اعتبار هذه العملية معقدة وتتضمن عدة ظواهر وردود أفعال في المراحل ما بين الطور الصلب والطور الغازي . حيث يمكن للتسخين أن يحدث من مساهمة خارجية (إشعاع – انتقال – توصيل) أو من عملية كيميائية تحدث داخل المادة (تخمر – أكسدة) أو من حرارة ناتجة عن احتراق حاصل بالفعل .

إن كمية الحرارة أو الطاقة اللازمة لبدء الاحتراق في البوليمرات تتفاوت تبعاً للخواص الفيزيائية للمادة المستخدمة على سبيل المثال: عند تسخين اللدائن الحرارية نصف المتبلورة (Semi- Crystalline Thermoplastics) فإن المادة ستلين بالحرارة ثم تذوب وتتقطر . وتعتمد الطاقة المختزنة في البوليمر أثناء هذه العمليات على كل من درجة حرارة التزجج Tg وقدرة المادة على الاحتفاظ بالحرارة وعلى انتالبي الانصهار (Enthalpy Of Fusion).

يرافق عملية التفكك الحراري أحياناً (والتي هي عبارة عن ظاهرة مصحوبة بانتشار الحرارة) تحرر طاقة ، والطاقة المقدمة للمادة يجب أن تكون أعلى من طاقة الروابط التساهمية وفي الغالب هي mol/KJ(200- 400).

إن عملية التفكك تعتمد بشكل أساسي على الروابط الأضعف وأيضاً على وجود الأكسجين في كل من الطور الصلب والغازي عموماً إن عملية التفكك هي نتيجة لتأثير كل من الحرارة والأكسجين [2].

ويمكن أن تتم إعاقة اللهب وفق الآليات التالية [3]:

1- تخفيف كمية المادة العضوية القابلة للاشتعال بإضافة مواد مالئة ذات جزيئات خامدة (inert) غير قابلة للاشتعال

2- تخفيض درجة حرارة المادة بإضافة مواد مالئة تعمل على ذلك .

3- إضافة مواد مالئة تتفكك إلى ماء ومواد غير قابلة للاحتراق لها القدرة على تحمل درجات حرارة عالية .

4- تخفيض نسبة الحرارة المنبعثة بإضافة مركبات كيميائية تعمل على ذلك .

وهناك حالتين أساسيتين لاستخدام المواد المعيقة للهب :

1) إما أن تضاف المواد بحيث تكون قادرة على عرقلة الاشتعال السريع مما يعطي وقت أكبر للمعالجة وتقلل من الغازات الناتجة

2) تكون مادة الإعاقة غير قادرة على عرقلة الاشتعال لكنها تخفض من معدل انتشار اللهب [3,1].

إن أي نوع من المالئات اللاعضوية حتى لو كان خاملاً يمكن أن يؤثر على قابلية البوليمر للاحتراق وذلك تبعاً لعدة تأثيرات [4]:

- تخفيض محتوى المواد القابلة للاحتراق
- تعديل الموصلية الحرارية للمادة الناتجة وكامل خواصها الحرارية
- تغيير لزوجة المادة الناتجة

كل هذه العوامل لها تأثير غير مباشر على مقاومة البوليمر للاحتراق وعلى الرغم من ذلك فإن بعض المعادن تستعمل بشكل محدد أكثر كمعيقات للهب بسبب سلوكها في درجات الحرارة المرتفعة.

وتشمل : - الهيدروكسيدات والكربونات المعدنية مثل هيدروكسيدات وكربونات (Mg- AL)

في حالة الهيدروكسيدات فإن : هيدروكسيد الألمنيوم يتفكك ليعطي أكسيد الألمنيوم ويطرح الماء عند درجة حرارة منخفضة C^0 (180- 200) بينما هيدروكسيد المغنزيوم Mg(OH)2 يتفكك ويطرح الماء عند درجات حرارة مرتفعة حوالي C^0 (320 - 340) [6,5,4].

في حالة الكربونات : فإن كربونات الكالسيوم CaCO3 تستخدم كمالئات حجم أو كتلة وبما أنها غير قابلة للاشتعال فهي تخفض من كمية المادة القابلة للاشتعال ، في بعض الأحيان تستخدم المالئات المعدنية كمزيج مع مواد

أخرى لتحسين خواص مقاومتها للهب ،كما أن كل من هيدروكسيد الألمنيوم والمغنزيوم يستخدمان لتقليل الدخان الناتج عن الاحتراق [7] .

إن التعامل مع المالئات من الهيدروكسيدات المعدنية والكربونات كهيدروكسيد الألمنيوم والمغنزيوم أو كربونات المغنزيوم وكربونات الكالسيوم أو مزيج من كليهما يعتبر مطلب أساسي في إعاقة اللهب بدون أي تأثيرات على البيئة بالمقارنة مع الهالوجينات ، وتختلف هذه المالئات بتأثيرها على مقاومة اللهب حسب نوع البوليمر المضافة إليه.

ميزاتها : – فعالة في تخفيض كمية الدخان والحرارة الناتجة عن الاحتراق

– ليس لها تأثير ضار على البيئة ويطلق عليها (FR Additives Green).

سلبياتها : – ليست فعالة عند النسب المنخفضة من الإضافة ويلزم أحياناً (50– 80) % كإضافة للحصول على الأداء المطلوب.

– الإضافات بنسب مرتفعة قد تسبب انخفاض في الخواص الميكانيكية ،مما يؤدي إلى صعوبة في اختيار هذه المواد على الرغم من تكلفتها المنخفضة [9,8].

أهمية البحث وأهدافه:

إن تحسين سلوك إعاقة اللهب هو هدف أساسي من أجل زيادة عمر المواد البوليمرية وهذا البحث يقع ضمن هذا المجال فاستخدام مواد إضافة كالأكاسيد المعدنية وبنسب محددة ضئيلة يمثل استقراءاً واضحاً لمدى مقاومة هذه المواد وإعاقتها للهب مرتفع الحرارة .

يهدف هذا البحث أيضاً إلى التوصل لتحديد أفضل الأكاسيد المختبرة ذات التأثير الفعال في إعاقة ومقاومة اللهب .

طرائق البحث ومواده:

مادة الأساس البوليمرية :

تم استخدام مادة البولي استر غير المشبع (Unsaturated polyester resin) إنتاج شركة Industrial Chemicals & Resins CO.Ltd. كمادة بولميرية أساسية في البحث .

المادة البادئة :

تم استخدام مادة بيروكسيد الميثيل ايثيل كيتون كمادة بادئة لحدوث التفاعلات في المزيج المستخدم وهي من نوع M– 50 – Butanox

المادة المسرعة :

تم استخدام محلول الكوبالت نفتنات الحاوي على نسبة % 6 كوبالت كوسيط معالجة مسرع لمزيج البولي استر المستخدم.

المواد المالئة المستخدمة:

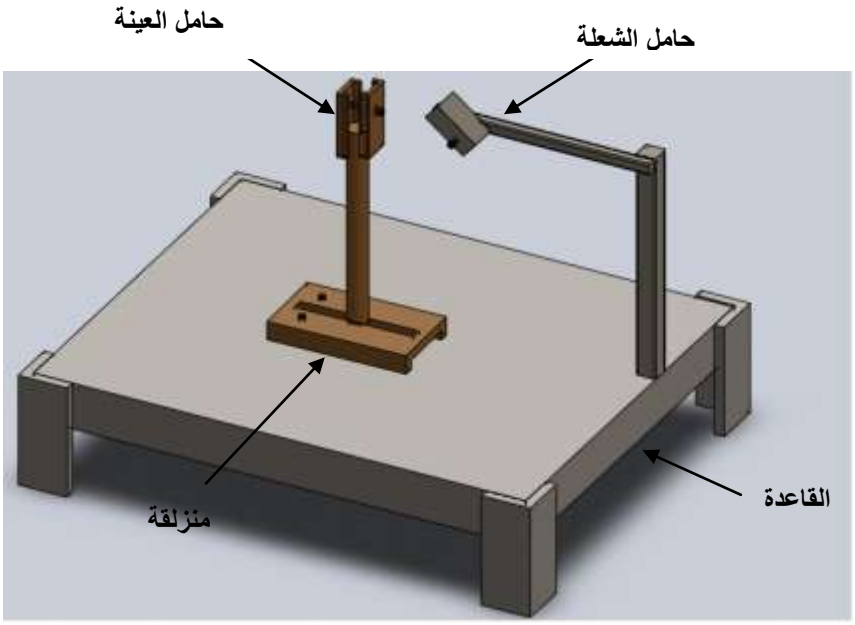
– أكسيد الألمنيوم Al2O3 : من المعلوم أن أكسيد الألمنيوم يتمتع بدرجة انصهار عالية نسبياً تصل إلى حوالي C^0 (2000) وقد تم استخدامه على شكل مسحوق حبيبي ناعم إنتاج شركة (Lobachemie) وبنقاوة 99.5% وحجم حبيبي (50 µm –53).

– أكسيد التيتانيوم TiO2 إنتاج شركة (BASF Aktiengsellschaft)على هيئة مسحوق ناعم بحجم حبيبي (5mµ) درجة انصهاره C^0 1843 .

– أكسيد المغنزيوم MgO : تم استخدام أكسيد المغنزيوم إنتاج شركة (Qualikems) والذي يعتبر من الأكاسيد السيراميكية التي تتمتع بدرجة انصهار عالية تصل إلى C^0 (2800).

جهاز اختبار الحرق :

من أجل حرق العينات تم استخدام الجهاز المبين بالشكل (2) وتم استخدام لهب أكسي استلين معتدل تصل درجة حرارته لحوالي C^0 (2500) و يوضح الشكل (3) كيفية تثبيت العينات من أجل الاختبار .



الشكل(2) – جهاز اختبار الحرق للعينات

الشكل(3) – طريقة تثبيت العينات في الجهاز

تحضير عينات الاختبار:

تم تحضير العينات بطرق تقليدية وبجو غير معزول حرارياً بدرجة حرارة للوسط المحيط بين C^0 (20–25).

حيث تم خلط مادة البولي استر المستخدم مع النسب المختارة (%2,4,5,7) من المواد المالئة المعيقة للهب ثم التحريك يدوياً حتى تمام التجانس . بعدها تم إضافة كل من المادة البادئة والمادة المسرعة والتحريك لمدة لا تتجاوز دقيقة ، ومن ثم صب المزيج في القالب المحضر ذو الشكل الدائري بقطر mm (0.5 ± 87) وسماكة mm(0.5 ± 10) حيث تترك العينات حتى تمام التصلب .

إن الهدف من استخدام الشكل الدائري للقالب هو تركيز شعلة لهب الأكسي استلين في مركز العينات المختبرة لإظهار الأثر الحاصل في العينة نتيجة سلوكها الحراري تحت تأثير اللهب كما في الشكل (4).

الشكل (4) – عينات الاختبار في القالب

بعد تصلب العينات يتم نزعها من القالب وأخذ قراءات للوزن بواسطة ميزان دقيق بدقة قياس تصل إلى 0,001 g كما تم قياس المتوسط الحسابي للقطر والسماكة وبذلك تصبح العينات جاهزة للاختبار كما يبين الشكل (5).

الشكل (5)- عينات الاختبار بعد تمام التصلب.

يوضح الجدول(1) وزن العينات وقطرها وسماكتها وذلك قبل تعريضها للهب الأكسي استليني مع العلم أن وزن العينة الأساس وهي عينة البولي استر الصافي هو((64.83 gram) وقطرها (87.77 mm) وسماكتها (10.16 mm)).

جدول (1)- وزن عينات الاختبار وقطرها وسماكتها

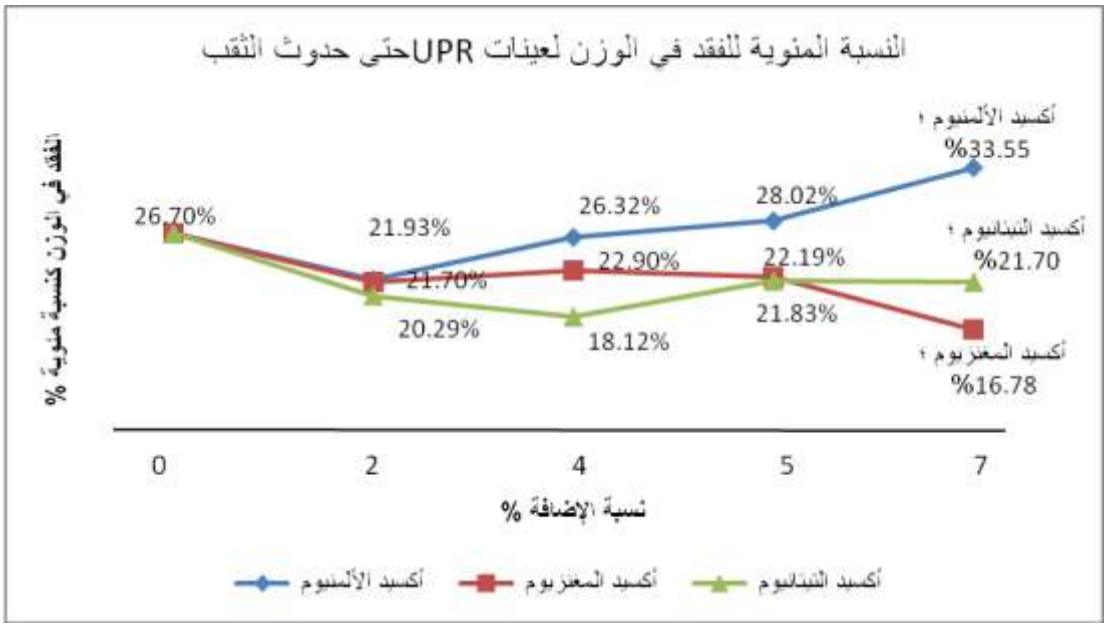
اسم العينة	نسبة المادة المالئة%	الوزن (gram)	القطر (mm)	السماكة (mm)
عينات بولي استر غير مشبع مع أكسيد التيتانيوم	2	68.50	86.50	10.23
	4	66.47	86.62	10.02
	5	64.34	86.99	10.02
	7	67.06	87.18	10.74
عينات بولي استر غير مشبع مع أكسيد المغنزيوم	2	64.03	88.38	9.74
	4	73.71	86.02	10.65
	5	67.12	87.27	9.61
	7	66.61	88.38	9.45
عينات بولي استر غير مشبع مع أكسيد الألمنيوم	2	65.88	87.77	10.39
	4	66.98	87.23	10.10
	5	64.25	87.22	10.02
	7	60.41	87.91	9.93

النتائج والمناقشة :

من أجل الحصول على نتائج إيجابية في دراسة مقاومة وإعاقة اللهب اعتمد هذا البحث على إضافة نسبة محددة من 2-7 % من بعض الأكاسيد المعدنية و تم اختيار أكسيد الألمنيوم والمغنزيوم و التيتانيوم كمواد مرجعية

تمكننا من المقارنة البحثية ، ولهذا عند إجراء اختبار مقاومة اللهب تم قياس الفقد في وزن العينات بعد الاحتراق وزمن ثقب العينات وكذلك التغير الحاصل في القطر نتيجة الاحتراق.

يوضح الشكل (6) منحنيات تغير النسبة المئوية للفقد الوزني لعينات الاختبار للأكاسيد المدروسة كمواد إضافة بنسب من % (2–7) بعد تعريضها للهب وحتى حدوث الثقب.

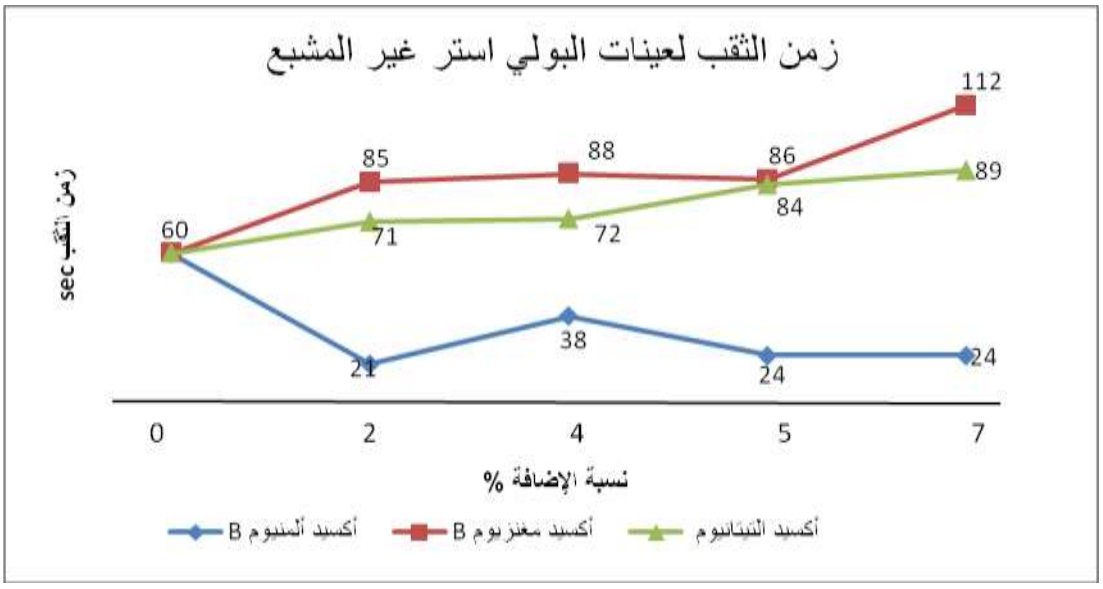


الشكل (6)– منحنيات تغير النسبة المئوية للفقد الوزني لعينات البولي استر غير المشبع بدلالة نسبة الإضافة وحتى حدوث الثقب

نلاحظ من الشكل (6) أن أعلى نسبة في فقد الوزن كانت عند نسبة % 7 من الإضافة لمادة أكسيد الألمنيوم بينما كانت أخفض نسبة لعينات مضاف إليها أكسيد المغنزيوم والتي فقدت % 17 تقريباً من وزنها مقارنة مع البولي استر الصافي الذي فقد تقريباً % 27 من وزنه بعد الحرق ، بينما نلاحظ أن العينة التي تحوي نسب إضافة من مادة أكسيد التيتانيوم فقدت وزناً يتراوح بين % 20–22 عند نسب الإضافة المستخدمة مما يدل على أن التغير في نسبة فقد الوزن هو تغير طفيف عند هذه النسب.

مما سبق نستنتج أن استخدام أكسيد المغنزيوم كمادة إضافة بنسبة % 7 والتي تعتبر نسبة صغيرة ساعد في مقاومة العينة للاحتراق ويعود سبب ذلك إلى ارتباط جزيئات أكسيد المغنزيوم مع جزيئات البولي استر ليشكلا مقاومة أكبر لعملية الاحتراق.

يوضح الشكل (7) منحنيات العلاقة بين زمن الثقب ونسبة الإضافة للأكاسيد المستخدمة عند تعريض العينات لمسافة ثابتة عن فوهة اللهب ومقدارها 6 cm .

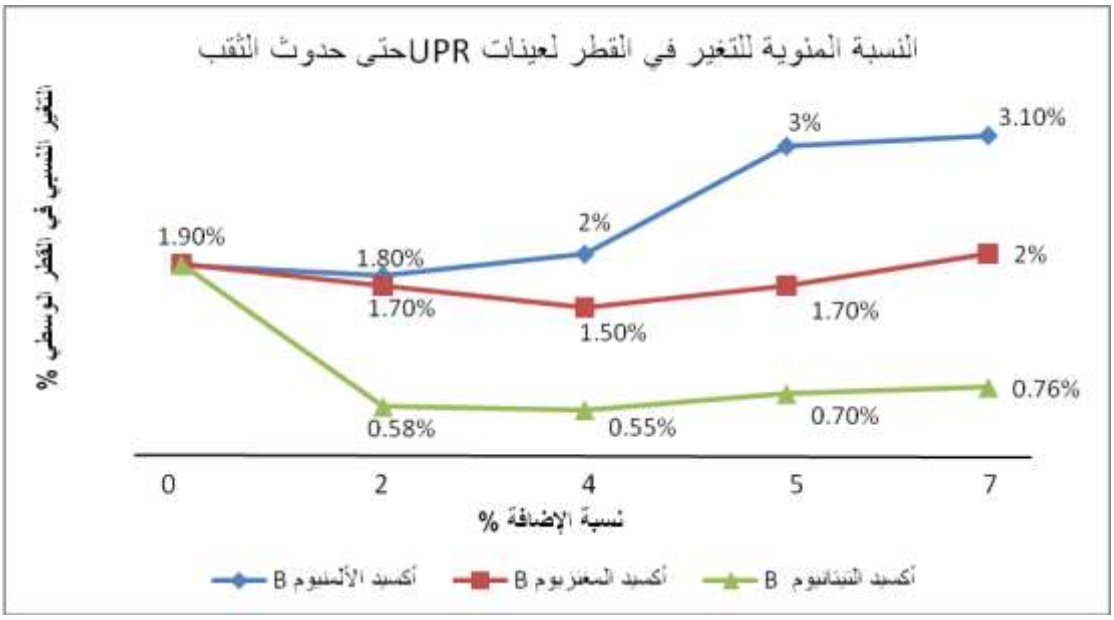


الشكل (7) – منحنيات تغير زمن الثقب لعينات البولي استر غير المشبع بدلالة نسبة مادة الإضافة

نلاحظ من الشكل (7) أن عينة البولي استر المضاف إليها نسبة % 7 من أكسيد المغنزيوم قد حققت أطول زمن ثقب وحسب ما يلاحظ من الشكل (6) سابقاً أن أخفض نسبة للفقد في الوزن كانت عند هذه النسبة من الإضافة وهذه النتيجة تبين أن أكسيد المغنزيوم كمادة إضافة عمل على إطالة زمن ثقب العينة مع فقد في الوزن أقل ويمكن تفسير ذلك بأن (MgO) حسن من مقاومة المادة للهب بالعمل على سد أماكن ضعف ترابط الذرات فيما بينها لتشكل طبقة وقاية تدفع اللهب عن سطح العينة.

يمكن الملاحظة من الشكل (7) أيضاً أن زمن ثقب العينة المضاف إليها نسبة % 7 من أكسيد التيتانيوم وصل إلى 89 sec وهو زمن جيد إذا ما قورن بزمن عينة أكسيد الألمنيوم والذي كان 24 sec فقط وهذا يدل على أن مادة أكسيد التيتانيوم أعطت نتائج إيجابية في إعاقة ومقاومة اللهب.

يظهر الشكل (8) منحنيات تغير النسبة المئوية في القطر لعينات البولي استر المضاف إليه نسب إضافة معينة من الأكاسيد المعدنية.



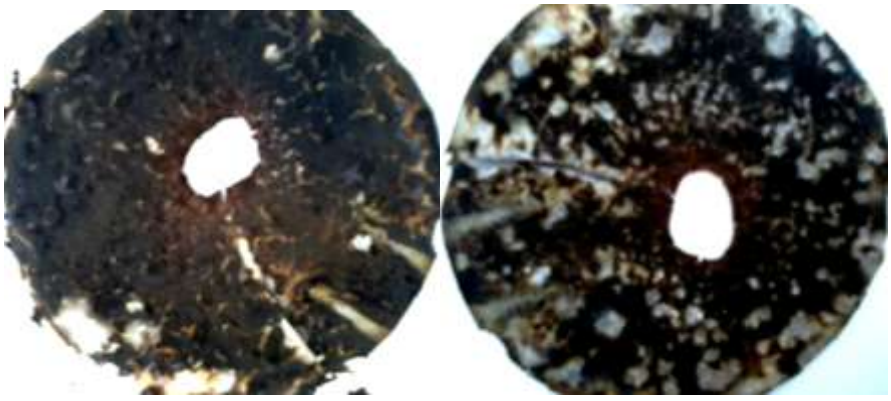
الشكل (8)– منحنيات تغير النسبة المئوية في القطر لعينات البولي استر بدلالة نسبة مادة الإضافة وحتى حدوث الثقب

يتضح من الشكل (8) أن نسبة التغير في القطر للعينات المدروسة محدودة وهذا يعني أن تأثر العينة باللهب يحدث في نقطة تمركزها حتى حدوث الثقب بنفس الوتيرة وإذا ما قارنا العينات المضاف إليها أكسيد المغنزيوم بنسبة 7% مع عينات البولي استر الصافي بدون أي إضافة نلاحظ أن النسبة متقاربة مع فرق 0.1% فقط.

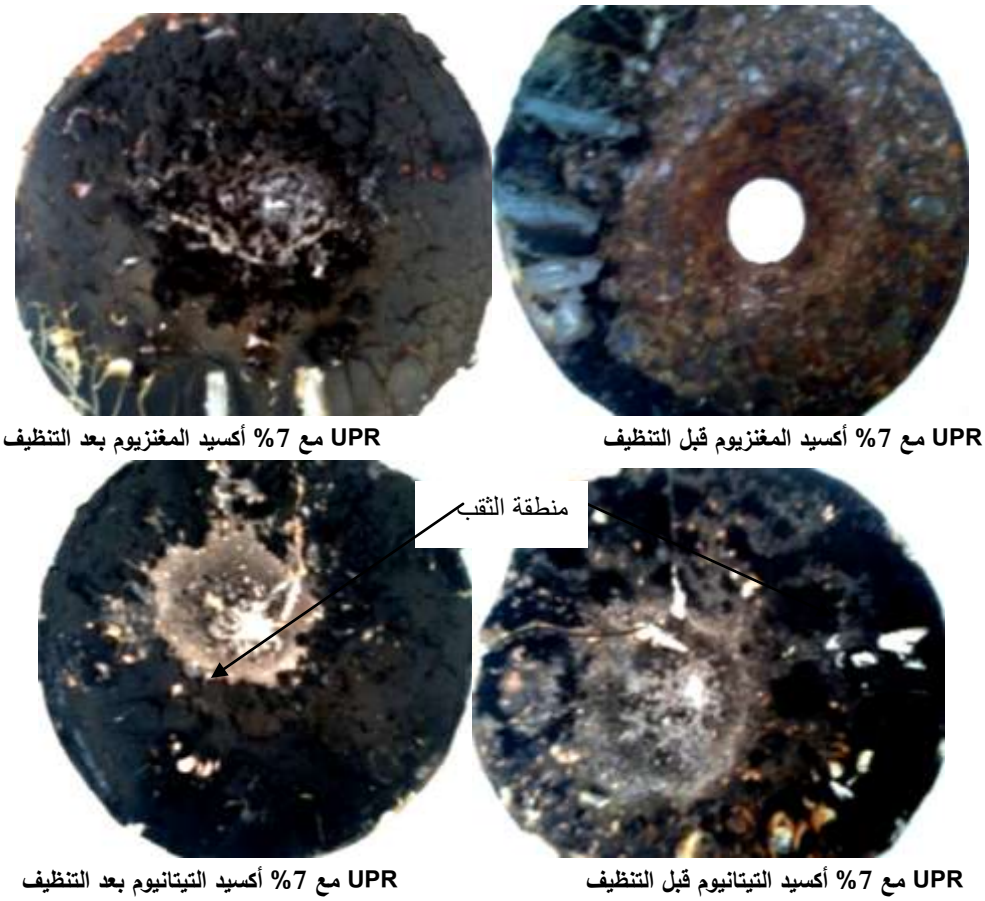
بالنسبة للعينات المضاف أكسيد التيتانيوم فإننا نلاحظ أن نسبة التغير في القطر كانت منخفضة مقارنةً مع مثيلاتها المضاف إليها أكسيد الألمنيوم والمغنزيوم ويمكن تفسير ذلك بالحركة البطيئة لجزيئات مادة أكسيد التيتانيوم عند تعرضها لحرارة عالية ،هذه الحركة ساهمت بتقليل التشوه في منطقة ثقب العينة .

عينات البحث بعد الاحتراق

يوضح الشكل (9) عينات البحث لنسبة 7 % من الأكاسيد المعدنية المدروسة بعد حرقها بلهب الأكسي استلين وذلك قبل وبعد تنظيفها من الطبقة الفحمية الموجودة على سطحها.



UPR مع 7 %أكسيد الألمنيوم قبل التنظيف **UPR مع 7% أكسيد الألمنيوم بعد التنظيف**



الشكل (9)- بعض صور العينات المحترقة قبل وبعد التنظيف

نلاحظ من الشكل (9) أن الطبقة الفحمية قد غطت أغلب سطح العينات المدروسة قبل التنظيف وبعد الحرق وحتى عند منطقة الثقب. وحدها عينات البولي استر المضاف إليه أكسيد المغنزيوم بنسبة 7% غطتها الطبقة الفحمية بشكل كامل حتى عند منطقة الثقب. نستنتج من ذلك أن أكسيد المغنزيوم ساعد في توفير طبقة واقية للسطح لمنع تأثر الطبقة الداخلية للعينات. كما نلاحظ أن الحفر الموجودة على سطح عينات البولي استر المضاف إليها أكسيد المغنزيوم بعد تنظيفها أقل بكثير من مثيلاتها المضاف إليها أكسيد التيتانيوم والألمنيوم وأكثر عينات تعرض سطحها للحفر هي عينات البولي استر المضاف إليه 7% أكسيد ألمنيوم.

وصف اللهب عند حرق العينات

في اللحظة الأولى لاصطدام اللهب بسطح العينة تتشكل هالة من اللهب تتميز بتوهج أبيض اللون، مع ملاحظة انتشار اللهب على كامل سطح العينة، مع مرور الوقت وارتفاع حرارة سطح العينة تبدأ المواد القابلة للاشتعال بالاحتراق مع إنتاج غازات ومواد قابلة للتطاير فيصبح اللهب عبارة نواة ذات توهج أبيض يتركز على سطح العينة تحيط به هالة حمراء اللون ناتجة عن تفاعل خليط الأكسجين الموجود في الهواء مع المواد المتطايرة، كما ينطلق عمود كثيف من الدخان أسود اللون دليل وجود الكربون.

يوضح الشكل (10) عينات البولي استر غير المشبع الصافي والمضاف إليها نسبة 7% من الأكاسيد المعدنية المدروسة وذلك عند تعرضها لاختبار مقاومة اللهب

عينة UPR صافي(a)　　عينة UPR مع 7% أكسيد التيتانيوم (b)

عينة UPR مع 7% أكسيد المغنزيوم (c)　　عينة UPR مع 7% أكسيد الألمنيوم (d)

الشكل (10)– نماذج من العينات المضاف إليها نسبة 7% من أكاسيد المعادن (ألمنيوم، مغنيزيوم، تيتانيوم) أثناء الاحتراق بلهب الأكسي استلين.

يتضح من الشكل (a −10) أن اللهب الناتج عن احتراق عينة البولي استر الصافي اتخذ شكلاً طولانياً متصاعداً مترافقاً مع دخان كثيف وتفكك بعض جزيئات المادة نتيجة الحرارة العالية مما أدى لتقطر وسيلان المادة. أما في الشكل (b) نلاحظ أن اللهب قد اختلف توزعه على سطح العينة وأحاط بها بشكل كامل بينما انخفض ارتفاع اللهب فوق العينة، الدخان في هذه العينة بدا كثيفاً ومتصاعداً. في الشكل (c) نلاحظ أن اللهب أحاط بالعينة بكاملها واندفع عن السطح كما أن ارتفاع اللهب كان متفاوتاً عنه بالنسبة لعينة البولي استر الصافي وبدا الدخان المتصاعد هنا أقل كثافة. في الشكل (d) نجد أن سيلان وتقطر المادة قد بدا واضحاً جداً عند تعرض العينة لّلهب ونلاحظ أيضاً أن اللهب بدا مندفعاً عن السطح بشكل أكبر منه عند الشكل (b).

نستنتج مما سبق إن سرعة تفكك جزيئات العينة يساهم في زيادة تقطر وسيلان المادة وزيادة أبخرتها و الأكاسيد المضافة تساهم بشكل أو بآخر في إبطاء تفكك جزيئات المادة حيث تشكل طبقة واقية تؤخر الاشتعال. كما نستنتج أن طبيعة اللهب هي طبيعة كربونية وتزداد كثافته مع مرور الوقت، كما نلاحظ أن تفكك جزيئات العينة المضاف إليها أكسيد المغنزيوم كان أقل بما يكفي ليعطي مؤشرات إيجابية لاستخدامها في إعاقة ومقاومة اللهب.

الاستنتاجات والتوصيات :

الاستنتاجات

مما سبق ومن خلال اختبارات الحرق التي أجريت على عينات البحث يمكن استنتاج ما يلي:

- عند النسب المنخفضة للأكاسيد المعدنية تم الحصول على نتائج إيجابية في إعاقة ومقاومة اللهب.
- إن أكسيد المغنزيوم أعطى أفضل النتائج من حيث الفقد في الوزن وزمن الثقب كما لوحظ أن أخفض نسبة فقد في الوزن عند عينة البولي استر المضاف إليها % 7 وكانت حوالي % 17 أما أطول زمن ثقب فكان لنفس العينة وهو 112sec.
- لم يلاحظ تغير ملحوظ في القطر بالنسبة للعينات المدروسة.
- إن توزع الطبقة الفحمية بالنسبة لعينة أكسيد المغنزيوم شمل سطح العينة بكامله حتى عند الثقب.
- إن أكثر العينات التي تعرض سطحها للحفر بعد التنظيف هي عينات البولي استر المضاف إليها 7% أكسيد ألمنيوم في حين كانت الأقل تعرضاً للحفر هي العينة المضاف إليها أكسيد المغنزيوم.
- إن اللهب الناتج عن حرق عينة البولي استر الصافي يتميز بلون أحمر وذو طبيعة كربونية وأخذ شكلاً طولياً تصاعدياً والدخان المتصاعد منه كان كثيفاً. بينما عند عينة أكسيد المغنزيوم فقد حافظ اللهب على لونه وطبيعته إلا أنه أحاط بكامل العينة وكثافة الدخان كانت أقل.

التوصيات :

- دراسة تأثير اللهب على البنية المجهرية للعينات بعد الاحتراق.
- إجراء معالجة حرارية للعينات قبل عملية الاحتراق ومقارنتها بالعينات التي لم يتم إجراء المعالجة لها.
- دراسة اللزوجة لمادة الأساس المستخدمة لمعرفة تأثيرها على توزع مادة الإضافة .

المراجـع

[1]- LAOUTID F ; BONNAUD L ; ALEXANDRE M ; LOPEZ-CUESTA J ., *New prospects in flame retardant polymer materials: from fundamentals to nano composites* , Ph. Dubois , Center of Innovation and Research in Materials and Polymers (CIRMAP), 2007.20-32

[2]- HUGHES W., *Development and Testing of Flame Retardant Additives and Polymers* , the National Technical Information Service (NTIS) , Virginia, 2007.45-55

[3] – MOURITZ A ., GIBSON A.G., *Fire Properties of Polymer Composite Materials*, solid mechanics and its application , 2006, 143.

[4]- ABDUL AZIZ A ., MOHD AL AUDDIN S., MOHD SALLEH R., SABET M ., *Influence of Magnesium Hydroxide/Aluminum Tri-Hydroxide Particle Size on Polymer Flame Retardancy: An Overview* , International Journal of Chemical Engineering and Applications, Vol. 3, No. 6, December 2012, 562.

[5] – UGAL J., JIMAA R., *Study of the Activity of Some Metal Oxides and Salts as Flame Retardants for Unsaturated Polyester Resin* . Second Scientific Conference – Science College . Tikrit University, 2012, 241.

[6]- CURRY B., *Fire Retardant Polyester Resin Formulations* , Technical Paper (AOC). Vol.3, 2003.8-11

[7]- BASKARAN R., SAROJADEVI M ; VIJAYAKUMAR C. T., *Unsaturated polyester nano composites filled with nano alumina*. J Mater Sci. vol.46,2011, 4864–4871.

[8]- . MORGAN A. B., *Polymer Flame Retardant Chemistry*, Ph.D. University of Dayton Research Institute,vol.30, 2009, 1-32.

[9] – LAACHACHI A., *Polyméthacrylate de méthyle (PMMA) :Développement de nouveaux systèmes retardateurs de flamme à base de nanocharges minérales*

. Ph.D thesis. Recherche de synergies avec des montmorillonites et des composés phosphorés. Université de Metz, France, 2005.87-92