The Iraqi Journal For Mechanical And Material Engineering, Vol.9, No.1, 2009

تحضير عازل حراري ودراسة خواصه الحرارية والميكانيكية

PREPARATION OF INSULATOR MATERIAL AND STUDY ITS THERMAL AND MECHANICAL PROPERTIES

د. علي هوبي حليم* جامعة بابل*كلية هندسة المواد

ABSTRACT

Due to increasing the importance of search about materials which have the capability to resistance generated flame from fires and in the same time acts as an insulator material so, this research introduced a material combined between these characteristics.

In the present research, the preparation method of an insulator material, which composed of phenol – formaldehyde reinforced by carbon fibers up to 40% weight percentages, was expressed, as well as described thermal and mechanical properties.

Thermal erosion test was indicated the performance of the insulator material efficiency to thermal insulation and flame retardancy. Thermal Erosion rate is 0.166mm /Sec.

Mechanical properties (compression test, impact test, flexural test) indicated high toughness of insulator material.

Key words: Thermal Insulators, Flame Retardant, Thermal Erosion Test, Carbon Fibers, Phenol Resin

الخلاصة

نتيجة للأهمية المتزايدة في البحث عن مواد لها القدرة على مقاومة اللهب الناجم عن الاشتعال وفي نفس الوقت تعمل كمادة عازلة ، لذلك جاء هذا البحث لتصنيع ماده تجمع بين هاتين الصفتين .

استخدم في هذا البحث راتنج الفينول فورمالديهايد وتقويته بألياف الكاربون بحيث تصل نسبتها إلى 40% نسبة وزنيه . كما تم تحديد خواصه الحرارية والميكانيكية . ولتقييم كفاءة العازل الحراري وإعاقة اللهب فقد تم إجراء عدة اختبارات ميكانيكية و حرارية.

لقد أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها من اختبار ألشعله الحرارية الذي تم قي درجات حرارية عالية كفاءة راتنج الفينول فورمالديهايد المقوى بألياف الكاربون كمادة معيقة للهب وفي الوقت نفسه كفاءته في العزل الحراري عند هذه الدرجات العالية. إذ كان معدل التعرية الحراري (Erosion Rate) 0.166 sec. / mm. كما بينت نتائج الفحوصات الميكانيكية (مقاومة الانضغاط ، مقاومة الصدمة ، مقاومة الانحناء) تمتع هذا العازل بمتانة عالية .

كلمات رئيسية : العوازل الحرارية ، معيقات اللهب ، اختبار التعرية ، ألياف الكاربون ، راتنج الفينول .

تمتاز باستقرارها الحراري العالي نذكر منها بوليمرات الأيمايد ، بوليمرات اليورثان ، بوليمرات السليكون ، بوليمرات حاويه على الفسفور، هالوجينات وراتنجات الفينول فورمالديهايد ...الخ [Kemmish et al., 2003].

تشير أغلب الأدبيات الكيميائية الحديثة وبراءات الاختراع إلى استخدام راتنجات الفينول فورمالديهايد وراتنجاتها المطورة (Phenolic resin and modified phenolic resin) وذلك لما تمتاز به من استقرار حراري عالي بسبب وجود التراكيب الاروماتية المستقرة حراريا إضافة إلى تخلف نسبة رماد عالية (نسبة تفحم عالية) مقارنة بالبوليمرات الأخرى [Kenneth et al., 2004].

طريقة تحضير العازل الحراري (Thermal Insulator Preparation)

استخدم في هذا البحث راتنج الفينول فورمالديهايد من خلال تفاعل الفينول مع الفورمالديهايد (شكل 1) [Peterson and Meyer, 2007] وتقويته بألياف الكاربون بحيث تصل نسبتها إلى 40% نسبة وزنيه .

يمتاز راتنج الفينول بكونه سلاسل بوليمرية متشابكة بدرجه عالية ، صلدة .غير ذائبة ، مقاومة للحرارة والجدول 1 [Richter and Smith, 2006] يوضح الخصائص الميكانيكية للراتنج .

أليـاف الكـاربون ألمستخدمه فـي هـذا البحـث مجهـزه مـن (Hyfil Ltd., UK) والجـدول 2 يوضـح الخصائص الميكانيكية للألياف [Torre et al., 1998].

تشمل عملية تحضير الألياف النهائية العمليات التالية :

1. تغطيس الألياف الكاربونية بالمادة الصمغية المكونة من راتنج الفينول(Phenolic Resin) والكحول (Denatured alcohol) بصورة تدريجية وبشكل متجانس.
2. عملية فرش العازل وتركه ليلة كاملة بدرجة حرارة المختبر
3. عملية الكبس داخل قالب (قولبة)عند ضغط 660 KP/ cm^2 (30 MPa) ودرجة حرارة ^oC 170 . وبهذه الطريقة نتخلص من الفقاعات في داخل النموذج المتصلب إضافة إلى ذلك تفيد الحشوة بما يلي :

- زيادة الصلادة.
- تنظيم التمدد الحراري(Thermal Expansion) وتقليل الانكماش(Shrinkage).
- تحسين الخواص الميكانيكية(Mechanical Properties).
- تسهيل العملية الأنزلاقية والانسيابية (Flow and Lubrication Processabilty)
- زيادة الكثافة.
- تحسين شكل وهيئة النموذج .

الاختبارات الميكانيكية Mechanical Tests

الاختبارات الميكانيكية التي تم إجراؤها في هذا البحث هي:

مقاومة الانضغاط Compressive Strength

تبين هذه المقاومة مدى تحمل المادة عند تعرضها إلى حمل انضغاط ساكن قبل أن تتكسر وتتحطم ، وتقاس عادة بوحدات (MPa)، والقيم العالية تشير إلى كبر قوى التماسك بين جزيئات المادة.

في المواد المركبة المقواة بالألياف تعتمد مقاومة الانضغاط على كل من مكوناتها وعلى قوة الربط عند سطح التماس (الليف- مادة الأساس) وعلى حجم الفجوات كما تعتمد كثيرا على الكسر ألوزني لليف [2007 Wu et al.,].

يعتمد فشل الانضغاط (Compression Failure) للمادة المركبة على خصائص مادة الأساس أكثر مما يعتمد عليها فشل الشد (Tensile Failure) ولهذا فان مقاومة الانضغاط تتأثر كثيرا بمتانة مادة الأساس وأسلوب تصنيعها.

استخدم في هذا البحث المكبس الهيدروليكي نوع (Leybold Harris No. 3611) لتعيين أقصى حمل انضغاط يتحمله النموذج.

تم اعتماد المواصفة القياسية (ASTM- D618) في تهيئة نماذج الاختبار والتي كانت بهيئة منشور رباعي (طول القاعدة / طول الارتفاع = 2/ 1)، وبعد تثبيت نموذج الاختبار بين سطحي المكبس، جرى تسليط الحمل بمعدل منتظم لقياس أقصى حمل مسلط، وبقسمة هذا الحمل على مساحة مقطع النموذج قبل التشوه ، تم حساب مقاومة الانضغاط للنماذج كافة.

مقاومة الصدم Impact Strength

تعبر مقاومة الصدم عن مقدرة المادة لمقاومة الكسر تحت تأثير حمل مفاجئ ، كما تعتبر مقياسا لمتانة المادة ، والمواد الأكثر متانة هي التي تبدي أعلى مقاومة للصدم ولمرونة الجزيئات دورا مهما في متانة المادة ، ففي الراتنجات الجسيئة (Stiff) مثل البوليستايرين (Polystyrene) تكون السلاسل الجزيئية غير قادرة على الانفصال والاستجابة للجهود الميكانيكية السريعة وبهذا ينتج عن الصدم كسر هش ، وبالعكس في الراتنجات المرنة مثل (Plasticized Vinyls) التي تملك مقاومة صدم عالية ناتجة عن مقدرة السلاسل الجزيئية الكبيرة على فك تشابكها والاستجابة سريعا للجهود الميكانيكية المؤثرة [Aslan et al., 2002].

استخدم جهاز فحص الصدم نوع شاربي (Charpy Impact Instrument) كما اعتمت المواصفة القياسية (ISO-179) في تصنيع نماذج الاختبار.

مقاومة الانحناء Flexural Strength

في المواد المركبة المقواة بالألياف والموضوعة تحت تأثير الانحناء يمكن أن يحصل الفشل بسبب الشد أو الانضغاط أو القص أو باشتراكها جميعا . وتعتمد قيم متانة الانحناء على نسب الكسر ألحجمي للألياف ومقاومة القص للطبقات الداخلية.

تعرف مقاومة الانحناء بأنها مقاومة المادة لاجهادات الانحناء بتعريض نموذج الاختبار لأحمال مركزية مختلفة، وان مقاومة الانحناء القصوى هي أقصى حمل تتحمله العينة دون حدوث انهيار أو تشوه دائم لها. وتتأثر قيم مقاومة الانحناء للمادة المركبة بعدة عوامل أهمها (درجة الحرارة والرطوبة ومعدل الأحمال)[Ding et al., 2006].

هناك طريقتان لقياس مقاومة الانحناء هما:

* الاختبار الثلاثي النقاط (Three- Point Test)
* الاختبار الرباعي النقاط (Four- Point Test)

ويعد الاختبار الثلاثي النقاط الأبسط والأكثر شيوعا في حساب مقاومة الانحناء.

إن عملية فشل المادة المركبة في هذا النوع من الاختبارات تتضمن (كسر الليف، تشقق المادة الأساس، انفصال الترابط بين الليف والمادة الأساس) وحصول الإعاقة التي تقود إلى الفشل النهائي وعادة تظهر الشقوق عند مناطق العيوب التي تتمركز فيها الاجهادات ومن ثم تنمو هذه الشقوق بصورة سريعة جدا بعد حصول كسر بسيط لليف مما يقود إلى الفشل النهائي عند إجهاد واطئ نسبيا[Noda et al., 2006].

اعتمدت المواصفة القياسية (ASTM D790) في تصنيع نماذج الاختبار والتي كانت بهيئة قطع مستطيلة بأبعاد (10*135 mm) كما استخدم المكبس الهيدروليكي متعدد الأغراض نوع (Leybold Harris No. 36110) لقياس أقصى حمل مسلط على منتصف النموذج. ومن خلال العلاقة التالية تم حساب مقاومة الانحناء (F.S.) لجميع النماذج [Tezvergil et al., 2000] :-

$$F.S. = 3PS/ 2bt$$

حيث إن:

P: أقصى حمل يتحمله النموذج (Newton)

S: البعد بين نقطتي تثبيت النموذج (mm)

b: عرض النموذج (mm)

t : سمك النموذج (mm)

اختبار التعرية الحرارية (Thermal Erosion Test)

ويسمى أيضا باختبار الشعلة الحرارية (Torch Test) . يستخدم هذا الاختبار للعوازل الحرارية التي تتحمل درجات حرارية عالية تتجاوز $3000\ ^oC$ 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 3 [Leleu et al., 2006] يوضح مدى درجات الحرارة للشعلة الحرارية المتولدة من عدد من الغازات والشكل 2 يبين كيفية إجراء اختبار الشعلة الحرارية.

في البحث الحالي تم تسليط الشعلة الأوكسي استيلينية على بعد 20 mm من العينة المراد إجراء اختبار التعرية الحرارية لها وتم قياس عمق الضرر في المادة العازلة (مدى اختراق الشعلة للمادة) لفترة زمنية معينة . والشكل 3 [Elsner, 1990] يبين رسماً توضيحياً لهذه الطريقة.

النتائج RESULTS

تم تثبيت نسب الخلط والظروف من خلال قياس الخواص الميكانيكية والحرارية للخلطات المحضرة حيث أعطت الخلطة النهائية التي تم تحديدها في ألفقره (2) أفضل الخواص الميكانيكية والحرارية. والجدول 4 يوضح الخواص الميكانيكية والحرارية للعازل الحراري الذي تم تحضيره .

الاستنتاجات CONCLUSIONS

1. سهولة تحضير الراتنج الفينولي من حيث المعدات ومن حيث توفر المواد الأولية والداخلة في تحضير المادة الصمغية (Resin) والسيطرة على تحقيق المواصفة.
2. سهولة عملية خلط الراتنج مع الألياف الكاربونية والذي يؤدي إلى تجانسها بسهولة وهذا ما أكدته تحاليل الأشعة السينية التي أعطت تصورا واضحا عن مدى تجانس الخلط وذلك من خلال قياسات أجريت على النماذج المكبوسة.
3. سهولة تشكيلها في القالب بدون أي مشاكل تذكر في إخراج النموذج بعد القولبة وهذا يعني الإسراع في عملية تحضير العازل عند الإنتاج النمطي.
4. أبدى العازل الحراري المحضر في هذا البحث خصائص ميكانيكية جيدة .

الجدول 1: خصائص راتنج الفينول [Richter and Smith, 2006] .

الخواص	الوحدات	
الكثافة النوعية	_	1.94
التقلص	cm/ cm	0.002
مقاومة الصدمة	J	0.13
مقاومة الترابط ألتشابكي	MPa	60
مقاومة الشد	MPa	34
درجة حرارة التبثر	^oC	195

الجدول 2 : يوضح خواص ألياف الكاربون [Torre et al., 1998].

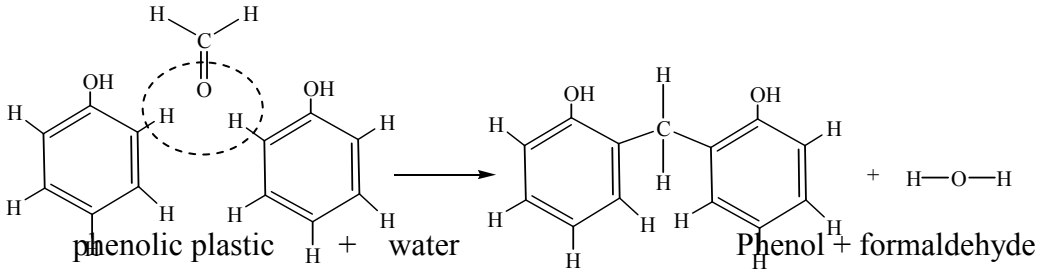
الخواص	الوحدات	
معامل المرونة	GPa	253
مقاومة الشد	GPa	4.5
الكثافة	g / cm^3	1.8
الحساءة النوعية	MJ / kg	140
مقاومة الصدم النوعية	MJ / kg	2.5

الجدول 3 : درجات حرارة الشعلة المتولدة من عدد من الغازات [Leleu et al., 2006].

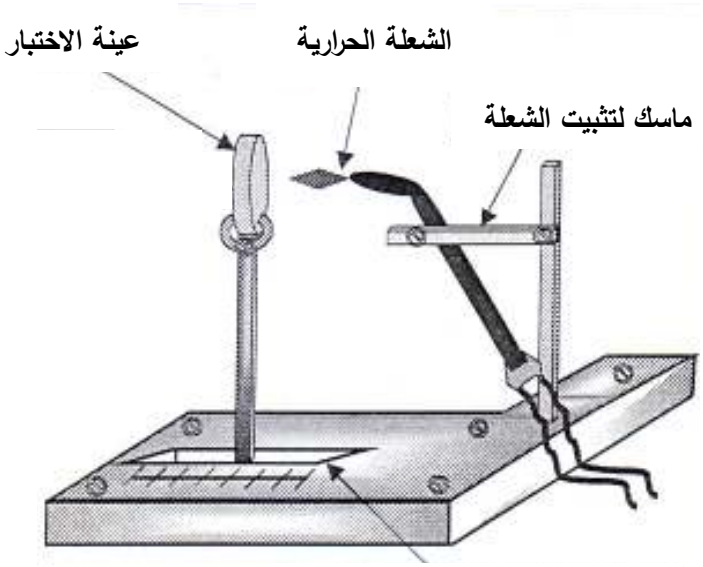
الغاز	الرمز	درجة حرارة ^oC
Oxyacetylene	C_2H_2	3250-3000
Oxy Hydrogen	H_2	2182
Butane-Propane	C_3H_8-C_4H_{10}	2000

جدول 4 : الخواص الميكانيكية والحرارية للعازل الحراري

الاختبار	الوحدات	نموذج 1	نموذج 2	نموذج 3
مقاومة الانضغاط	KP /cm^2	1000	1077	1134
مقاومة الصدمة	KP /cm^2	94	97	96
مقاومة الانحناء	KP /cm^2	2189	3881	3035
نسبة المادة الرابطة		%60	%64	%61
المحتوي الرطوبي		1.84	1.73	1.72
درجة حرارة التشوه		> 265 ^oC	> 273 ^oC	> 268 ^oC
معدل التعرية	mm /Sec.	0.173	0.166	0.169

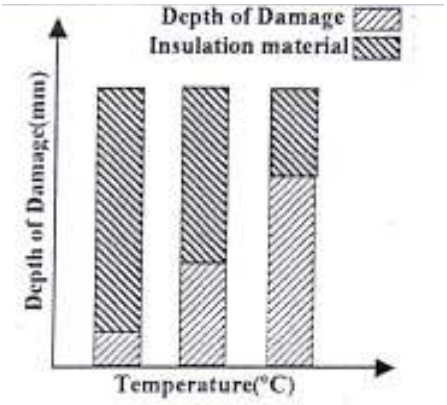


الشكل 1 : تكوين راتنج الفينول – فورمالديهايد [Peterson and Meyer, 2007] **.**



منزلق يستخدم للتحكم ببعد العينة
عن الشعلة الحرارية

الشكل 2: اختبار التعرية الحرارية.



الشكل 3: حساب قدرة المادة على مقاومة حرارة اللهب عن طريق تحديد عمق الضرر [Elsner, 1990]

REFERENCES المصادر

Aslan, Z.; Karakuzu, R. ; and Sayman,O;2002,Dymamic Characteristics of Laminated Woven E-Glass-Epoxy Composite Plates Subjected to Low Velocity Heavy Mass Impact, Journal of Composite Materials, No.1,36(21),pp.2421-2442.

Ding, S.; Tong, J. W.; Shen, M.; H. Q. Li, and Huo, Y. Z.,2006, Strain – rate Dependence of Interlaminar Stress Fields in the Vicinity of Free Edges of AS4-PEEK Composite Laminates Under Uniaxial Tension , Journal of Reinforced Plastics and Composites, Vol.25,No.10,pp.1091-1100.

Elsner, 1990, Thermal Protection System – Comparison of Hermes Flight Environment and Test Facility Environment of the IRS Plasma Wind Tunnel, Technical Report, H-NT-IB-0006-MBB, MBB Munchen.

Kemmish, D.; Leibfried, K.; and Richard, T., 2003, Light Weight Ablative Materials, United States Patent 20030 158320, http://www.free patent 20030158320 htm1.

Kenneth P. W.; John, K. S.; and Allan, P. T.; 2004, Rocket Assembly Ablative Materials Formed From, as Precursor , Staple Cellulosic Fibers, and Method of Insulating or Thermally Protecting A Rocket Assembly With The Same, Patent No. 6,745,394.

Leleu, F.; Kern, O.; Salmon, T., Denaro, A.; G era rd, Y.; 2006, Thermal Protection Systems and Hot Structures, the Netherlands (ESA sp 631).

Noda, Junji, Okabe, Tomonage, Takeda, Nobuo, Shimizu, Massao, 2006, Tensile Strength of CFRP Cross-ply laminates Containing Transverse Cracks, Vol.15, No.1, pp.81-93.

Peterson , D. A. and Meyer, C. L.; 2007, Experimental Evaluation of Several Ablative Materials as Nozzle Sections of A Storable – Propellant Rocket Engine; National Aeronautics and Space Administration Cleveland OH Lewis Research Center.

Richter, P. and Smith, T. D., 2006, Ablative Material Testing for Low Pressure, Low Cost Rocket Engines, NASA Lewis Research Center.

Tezvergil, A.; 2000,The Effect of Fiber Orientation on the Thermal Expansion Coefficients of Fiber- reinforced Composites, Dental Materials, Vol.19,Issue6,pp.471-477.

Torre , L.; Kenny , J. M.; Maffezzoli, A. M.; 1998, Degradation Behavior of Composite Material for Thermal Protection Systems Part 1- Experimental Characterization , Journal of Material Science , vol. 33, No. 12, pp. 3137-3143.

Wu, Guocai-; Yang, Jenn-Ming; Hahn, H., Feb.2007, The Impact Properties and Damage Tolerance and of Bi- directionally Reinforced Fiber Material Laminates, Journal of Materials Science, Vol.42, No. 3, pp.948-957.