

تأثير دقائق الكربون على Styropore المذاب بمادة البنزين

مصطفى عبد الستار إبراهيم*

تاريخ الاستلام: 2009/10/12

تاريخ القبول: 2010/5/6

الخلاصة

تم في هذا البحث تحسين في الخواص الفيزيائية والميكانيكية لمادة الفلين (Styropore) المذاب بواسطة البنزين المختبري (C_6H_6) عن طريق استخدام دقائق الكربون. حيث تم إضافة نسب وزنية مختلفة % (2.5, 7.5, 15, 30, 60) من دقائق الكربون لحجم حبيبي أقل من $63\mu m$ الى الفلين المذاب لتحضير النماذج. هذه النماذج خضعت الى اختبارات التوصيلية الحرارية، الطاقة الحرارية المكتسبة، ثابت العزل الكهربائي، صلادة شور (D).

The Effect of Carbon Particles on Styropore Solvent by Benzene

Abstract

In this research is improvement of physical and mechanical properties by solvent the styropore with laboratory benzene (C_6H_6) and then mixing with different weighted ratio of carbon particles (2.5, 7.5, 15, 30 and 60)% at size less from $63\mu m$ were added to dissolved styropore to proper samples were applied to many tests of dielectric constant, hardness, thermal conductivity.

المقدمة

في هذا البحث تم استخدام مادة الفلين (styropore) المستخدم في حفظ الأجهزة الكهربائية والزجاجية والسيراميكيات لصد الصدمات داخل العلب الكارترونية والتي أدت الى زيادة الكميات المتخلفة حيث سببت تلوث بيئي حقيقي ونظرا لصعوبة تحلله الكيميائي بدأ ظهور انسدادات في كثير من أنابيب الصرف الصحي وعلى سطوح الأنهر حتى أدى الى أن تكون بيئة مناسبة لتكاثر الأحياء المجهرية عليها التي تعتبر من مصادر التلوث البيئي و من هذا المنطلق بدأ البحث حول إيجاد طريقة للاستفادة منه بتحسين خصائصه الميكانيكية والفيزيائية من أجل استخدامه في مجالات عمل عديدة لهذا السبب أن أفضل وسيلة للحصول على ذلك هو إذابة (styropore) بواسطة مذيب عضوي ومن ثم خلطه مع مسحوق دقائق الكربون بحجم حبيبي أقل من $63\mu m$ بنسب تضاعفية لإيجاد

الفارق السريع لتأثير هذه الدقائق على (styropore) المذاب.

ويعتبر الكربون من المواد واسعة الاستخدام وتعطي مواصفات متميزة في زيادة الصلادة

ومعامل التوصيلية الحرارية وتحسن في الخواص الكهربائية [1]. أن styropore يعد من المواد العازلة لعدم احتوائه على أيونات في تركيبه ولا على فلز لذلك يعد من العوازل الحرارية العالية الجودة لعدم امتلاكه على وفرة إلكترونية أو على أيونات ليسهل عملية التوصيل الحراري لذلك تولد الفونونات تعد الوسيلة الوحيدة لأنتقال الحرارة عن طريقها في المواد العازلة. [2],[3]

ومن خلال التعريف لثابت العزل الكهربائي بأنه قابلية استجابة المادة وتأثرها بمجال كهرومغناطيسي [4]. كما يعرف الثابت العزل الكهربائي: هو مقياس للطاقة المخزونة في مادة ما موضوعة تحت جهد كهربائي [5].

المذيبات البترولية هي عبارة عن مزيج من هايدكربونات تصنف الى ثلاثة أصناف واسعة على أساس مدى التبخر وقوة المذيب فهناك مدى من $30\text{--}160\text{ }^{\circ}\text{C}$ ومدى التبخر للمذيب من $130\text{--}220\text{ }^{\circ}\text{C}$ والأخر تكون فيه درجة التبخر المذيب من $160\text{--}300\text{ }^{\circ}\text{C}$ وهناك مذيبات متفردة وتكون ذات نوعية خاصة محصور بين $15\text{--}30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ويعتبر البنزين من المذيبات ذات مدى التبخر الخاصة [9].

العملي

المواد المستخدمة

(1) مادة (styropore) ويطلق عليها

رغوة البولي ستايرين وهو عبارة عن وجود كوبوليمر من (styrene-acrylonitrile) مخلوط مع (hydrocarbons) بدرجة حرارة واطئة مع معامل يساعد على أنفاخ الفلين ويعتبر من المواد سريعة الأشتعال حسب مواصفات الشركة الألمانية (BASF) أكبر شركة كيميائية عالمية لإنتاج Styropore والمنتشرة في أنحاء العالم [3].

(2) البنزين المختبري (C_6H_6) وهو من المواد المعروفة التي تعتبر من المذيبات العضوية القوية الفعالية وذات نقاوة عالية جداً

(3) دقائق الكربون وذات حجم دقائق أقل من 63 ميكرومتر (والمحضر من الفحم النباتي الخالص المخصص للأرجيلة وذات نقاوة عالية وهو عبارة عن خليط لفحم نباتي خالص بنسبة 94% لشركة القمة المصنوع في سوريا) حيث تم طحنه ومن ثم نخله.

طريقة التحضير والأجهزة المستخدمة

(1) تم أذابة (4g) من مادة styropore في 10ml من البنزين المختبري أذابة كاملة ومن ثم إضافة دقائق الكربون بحجم حبيبي أقل من $63\mu\text{m}$ الى المذيب

لذلك تعتمد خواص العزل الكهربائي على عوامل عديدة منها المكون الكيميائي ومقدار الشوائب والفراغات الموجودة في النموذج وبالتالي مقدار الأستقطاب الحاصل وكذلك يعتمد على التردد المسلط ومن ثم مقدار السعة الكهربائية له ، ودرجة الحرارة المستخدمة عند الاختبار والصلادة (و هي مقاومة المادة للكشط أو الاختراق أو البلى أو التلم حيث يتم تصليد المادة بوساطة المعالجة الحرارية أو التشويب التقني التي تعمل على أعاقه ذرات المادة من الانزلاق على بعضها داخل المادة [6].

وللحصول على خليط جيد يجب توفر شرط البناء الهندسي لنسيج البولييمري لذا نستطيع تقسيم الترتيب الهندسي ضمن صنفين . أولاً" الترتيب المثبت بوساطة الأواصر الكيماوية بين الجزيئات وهذا الترتيب يسمى Configuration وفي هذه الحالة البولييمر لا يستطيع تغيير السلسلة مالم تنكسر الأواصر الكيماوية وبالتالي إعادة تشكيله.

ثانياً" الترتيب الذي ينشأ من دوران حول الأواصر المنفردة ، ويسمى Conformation ، وهذا الترتيب يتضمن تعدد الأشكال في السلاسل البولييمرية. [7] هناك أنواع من الأواصر تربط الجزيئات سوية" في السلسلة للمادة البولييمرية على عكس المواد المعدنية ،التي تتكون من نوع معين من الأواصر. وهذه الأواصر تنقسم الى نوعين ،أواصر رئيسة تربط السلسلة الرئيسية للعمود الفقري للبوليمر ، وهي الأصرة ألتساهمية (Covalent Bond) . وهي الغالبة المطلقة الموجودة في معظم البولييمرات ، وبالتالي تربط الوحدات التركيبية مع بعضها البعض . وأواصر ثانوية (Van der Waals) ، وتكون هذه القوى عادة" بين أجزاء السلاسل البولييمرية ، أو بين أجزاء السلسلة الواحدة ، ولهذا القوى تأثير بليغ على معظم خواص البولييمرات الفيزيائية والميكانيكية [8].

وأوفوميتر حساس . بالاعتماد على المعادلات التالية [10]

$$C = \frac{1}{4\pi^2} f_r^2 L \quad \dots(3)$$

$$\epsilon = \frac{d \cdot C}{A} \quad \dots(4)$$

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \quad \dots(5)$$

حيث تمثل f_r التردد الرنين L حثية الملف C سعة المتسعة ϵ السماحية للمادة العازلة السماحية بالفراغ ϵ_r ثابت العزل الكهربائي .

(6) اختبار الصلادة

تم استخدام جهاز (Shore D Hardness Tester (Time Group Inc) TH210) من نوع (Time Group Inc) الصيني الصنع لفحص جميع النماذج . وقد تم استخدام جهاز (Shore A Hardness Tester (Time Group Inc) TH200) من نوع (Time Group Inc) الصيني الصنع لفحص نموذج styropore غير المذاب لتعذر فحصه في الجهاز الأول لقلته صلادته

النتائج و المناقشة

(1) التوصيلية الحرارية (Thermal Conductivity)

أن الشكل (1) يظهر انخفاض في معامل التوصيلية الحرارية في بدء الإضافة وهذا ما تمثل في نسبة الإضافة لدقائق الكربون 2.5wt% ومن ثم الزيادة التدريجية حتى تصل أعلى معامل توصيلية عند إضافة 60wt% من دقائق الكربون عدا نسبة 7.5wt% من دقائق الكربون المضاف حيث لوحظ زيادة مفاجئة في هذه الإضافة بقيمة عالية ولو قورنت النتائج مع كمية الطاقة الحرارية المكتسبة الشكل (2) لوجد أن هناك انخفاض تدريجي في كمية الطاقة الحرارية المكتسبة عدا عند الإضافة 7.5wt% أخذت زيادة في كمية الطاقة الحرارية المكتسبة . أن إضافة الدقائق الكربون بنسب قليلة تؤدي إلى تهتك في النسيج المتكون من أذابة styropore في البنزين المحتوي على

مع الخلط الجيد لتحضير النسب الوزنية التالية :

(0, 2.5, 7.5, 15, 30, 60) wt% مع مراعاة أن التحضير النماذج تم في نفس الظروف .

(2) تم صب الخليط في قوالب لصنع نماذج حسب مواصفات ASTM-D150 ومواصفات الجهاز قياس التوصيلية الحرارية وصلادة شور D وتركت يومان قبل الأختبار .

(3) المنخل الكهربائي

استخدام منخل كهربائي من نوع Retsch (AS200digit) الألماني المنشأ لنخل الكربون المطحون يدويا والحصول من خلاله على دقائق بحجم أقل من 63µm .

(4) اختبار التوصيلية الحرارية

تم استخدام طريقة قرص لي (Lee's Disk Method) لقياس التوصيل الحراري للمواد العازلة المصنع من قبل شركة (Griffen & George) البريطانية . بالاعتماد على المعادلات التالية [10]

$$K \left[\frac{T_B - T_A}{d_s} \right] = e \left[T_A + \frac{e}{r} \left(d_A + \frac{1}{4} d_s \right) T_A + \frac{e}{2r} d_s T_B \right] \quad \dots(1)$$

$$IV = \pi^2 e (T_A + T_B) + 2\pi r e [d_A T_A + d_s \frac{e}{2} (T_A + T_B) + d_B T_B + d_C T_C] \quad \dots(2)$$

حيث تمثل e الطاقة الحرارية المكتسبة T_A, T_B, T_C درجة حرارة الأقراص المعدنية d_s سمك النموذج r نصف قطر النموذج k ثابت التوصيلية الحرارية d_A, d_B, d_C سمك الأقراص المعدنية I التيار الفولتية V

(5) اختبار ثابت العزل الكهربائي

تم استخدام جهاز من نوع (Signal Generater Model A) من قبل شركة (Griffen) البريطانية ، في دائرة كهربائية مكونة من لوح متسعة يوضع داخلها النموذج ومقاومة (1000Ω) وملف ذا حثية بمقدار (20mH)

متقارب جدا" وسبب ذلك أن styropore المذاب متكون من سلسلة شبكية تحد من أهدزاز الشبكي المولد للفونونات . أن التدعيم ا سوف يعمل على زيادة درجة الحشو وأنخفاض درجة التشابك للسلاسل الجزئية التي يعطيها حرية في الحركة وبالتالي تزداد قابليتها على الحركة الأهدزازية ولما كانت قابلية البوليمر على التوصيل الحراري تعتمد على أهدزاز الجزئيات والتي تنقل هذه الأهدزازات اليجزيئات مجاورة لها فبالنتالي فأن المتراكبات المدعمة تمتلك توصيلية حرارية أعلى [12]

(2) ثابت العزل الكهربائي (Dielectric Constant)

ومن الجدول [1] والشكل (3) نلاحظ الأتي ارتفاع في قيمة ثابت العزل الكهربائي عند إضافة دقائق الكربون إلى styropore المذاب حتى يصل أعلى قيمة عند النسبة المئوية 7.5wt% ومن ثم ينخفض بشكل سريع عند النسبة المئوية 15wt% ومن ثم يعود إلى الزيادة في قيمة ثابت العزل الكهربائي . أي أن هناك مرحلتين زيادة في هذا الشكل ، وبما أن الكربون يعتبر من المواد الموصلة وذا تطبيقات واسعة في مجال الكهربائي [1] . لذا نستطيع أن نقول أن إضافة الكربون تعمل على زيادة تأثير المادة للمجال الكهرومغناطيسي وحسب التعريف لثابت العزل الكهربائي ، ونلاحظ أن هناك سببين يختلف بعضهما عن الأخر في تليل الأختلاف في سبب الزيادة للمرحلتين عند النسب القليلة لدقائق الكربون وعند نسب الأضافة العالية .

أن الحالات المصاحبة للنسب كما كشفنا عنها ومن خلال النظر الى مقطع العرضي للنماذج نشاهد تكون فجوات هوائية أيرية نستطيع ملاحظتها عند تصلب styropore المذاب في البنزين هذه الفجوات الهوائية تبدأ بالاختفاء عند نسب 2.5wt%, 7.5wt% من دقائق الكربون

مسامات كثيرة جدا" وبالتالي تعمل هذه الدقائق على أشغال الفجوات وقد لوحظ أن الدرجة العالية من التطعيم تعزز درجة التشتت للأطوار . وأن زيادة الأطوار المشتتة dispersed phases للنسيج تؤدي إلى نقصان في خواص المتانة والقوة . كما وجد أن هناك تغيراً في هيئة وخصائص التطعيم وهذا ما كان يتصور في السابق أن نسبة البولي بيوتادين في مادة (HIPS) (9% افضل من نسبة 5-6) % من بولي بيوتادين المضاف الى مادة (HIPS) ولكن بعد إجراء الطريقة الأحصائية أثبت عكس ذلك [11] .

وأن سبب الزيادة المفاجئة عند نسبة 7.5wt% هو حدوث أملاء للفجوات الهوائية بدقائق الكربون و بالنتالي انتهاء تأثير الفجوات الهوائية مما أدى الى ارتفاع التوصيلية الحرارية . والنسب التي أكثر من 7.5wt% بدأت دقائق الكربون تتكثف مع بعضها وكذلك تتجمع الفقاعات الهوائية مع بعضها وبالتالي أدى الى زيادة في حجم الفقاعات ومن ثم خروجها تاركة خلفها شقوق طولية داخل النموذج وكما حصل في كل من النسب الكربونية المضافة 30wt% وزادت وضوحاً في نسبة 60wt% والتي تعتبر هذه الفجوات الهوائية عازل حراري ولهذا نلاحظ تبدأ القيم التوصيلية الحرارية بالازدياد لخلوها من الفجوات الهوائية وزيادة نسبة دقائق الكربون المضافة الذي تعتبر ذا معامل توصيلية حرارية عالية وتساوي ($K_c = 16.7W/m.C$) [12].

نلاحظ من خلال الجدول هناك فرق بين styropore المذاب بالبنزين وغير المذاب أن الطاقة الحرارية المكتسبة عند غير المذاب بالبنزين أقل من الطاقة المكتسبة للمذاب بالبنزين وذلك لأن الأول يحوي فراغات أكثر والثاني نسيجه يكون شبكي السلاسل وهذه مواصفات الراتنج [6]. لأن الفراغات الهوائية تكون عازل حراري جيد مع ملاحظة أن ثابت التوصيلية الحرارية

من خلال الجدول [1] والمخطط البياني لشكل (4) نلاحظ هناك انخفاض في قيمة صلادة styropore المذاب في البنزين عند إضافة دقائق الكربون حتى تصل إلى أعلى انخفاض عند نسبة 7.5wt% ومن ثم تزداد الصلادة حتى تصل إلى أعلى قيمة لها عند نسبة 60wt% بسبب الخواص الميكانيكية العالية التي يمتلكها الكربون [1] حيث يزيد من الصلادة للخليط .

أن النتائج التي تم التوصل إليها تعيد تأكيدها لنفس التعليل السابق في اختبار ثابت العزل الكهربائي حيث لوحظ أن الدرجة العالية من التطعيم تعزز درجة التشتت للأطوار . وأن زيادة الأطوار المشتتة للنسيج تؤدي إلى نقصان في خواص المتانة والقوة [11]. ولهذا كانت أقل صلادة هي نسبة دقائق الكربون 7.5wt% حيث تكون في هذه النسبة مقارنة بالنسبة الإضافية للدقائق الكربون 2.5wt% أكثر زيادة في الأطوار وأكثر تشتت وفي هذه النسبتين ويعتبر المزيج في هذه الحالة بوليمر مشوب **Polymer Alloys** وليس خليط لأن مواصفات الخليط الغير المتوافق يحمل معدل المواصفات بين مكونات الخليط ، بينما النسب الإضافية القليلة من دقائق الكربون تعمل كمادة مشوبة لمادة styropore المذاب لهذا سيحصل تشتت لهذه الدقائق وبالتالي ستعتمد المواصفات المتكونة على كمية الخليط لهذه الدقائق وطبيعة الترابط [12][14].

والشكل (5)،(6) يبين صورة النماذج التي تم تصنيعها والمقطع العرضي لها. ومع ملاحظة أن styropore غير المذاب لم أتمكن من فحص صلادته إلا بجهاز شور (A) وهذا من الطبيعي أن يكون أقل بكثير من المذاب بالبنزين .

الاستنتاجات

أستناداً إلى النتائج المستخلصة من الدراسة والاختبارات يمكن بيان ما يأتي:-

(1) أن زيادة دقائق الكربون المضاف إلى styropore المذاب بالبنزين تقلل

المضاف ومن ثم ترجع هذه الفجوات لتتجمع معا بعضها مكونة فجوات كبيرة بعدد أقل عند النسبة 15wt% ومن ثم تخرج هذه الفجوات الهوائية من النموذج تاركة قنوات شقية فارغة وهذا ما نجده عند نسب الخلط لدقائق الكربون 30wt%,60wt% . ومن هنا يسهل تعليل الحالة ، أن الدرجة العالية من التطعيم تعزز درجة التشتت للأطوار [11] ، وبالتالي النسب القليلة لدقائق الكربون 2.5wt%,7.5wt% تملأ الفجوات الهوائية المتكونة ، ولهذا تزيد من تأثير المادة من المجال الكهربائي ولهذا تكون قيمة ثابت العزل الكهربائي أعلى بينما النسب المئوية لدقائق الكربون 15wt%,30wt%,60wt% هنا تبدأ بنكون أطوار مستمرة وغير مشتتة ويبدأ تأثير الكربون كخليط للمادة styropore المذاب بالبنزين ومن ثم يحمل مواصفات جديدة تكون بين مواصفات المواد المشتركة ولهذا نلاحظ انخفاض في قيمة ثابت العزل الكهربائي نسبة دقائق الكربون 15wt% لأن نسبة الأطوار المستمرة continuous phase المتكونة للكربون تكون قليلة وبالتالي تكون المواصفات متقاربة إلى Styropore المذاب بالبنزين الخالي من دقائق الكربون ولهذا تكون الزيادة طفيفة في قيمة ثابت العزل الكهربائي لمادة styropore المذاب بدون دقائق الكربون . ومن ثم تزداد قيمة ثابت العزل الكهربائي كلما زادت دقائق الكربون المضاف 30wt%,60wt% . وهذا ما يؤكد من خلال النظر إلى الجدول (1).

هناك فرق واسع بين كل من مقدار ثابت العزل الكهربائي بين كل من styropore غير المذاب والمذاب بالبنزين ولعل السبب أن الألكتروليتات القليلة الموجودة في styropore عند الأذابة قد دخلت من ضمن تكوين النسيج الجديد عند تكوين جذور لتكوين راتنج الجديد [13]

(3) الصلادة (Hardness)

Interscience PUB , New York , (1971).

[8]الدكتور كوركيس عبد آل آدم والدكتور حسين علي كاشف الغطاء , " تكنولوجيا وكيمياء البوليمرات " , البصرة , جامعة البصرة , (1983) .

[9]World Health Organization , "Some Organic Solvent ", "International Agency For Rsearch on Cancer" , vol 47, p.43,Jan ,1989.

[10]M.Slman , N.Hameed, "Stady of Degradation Effect on Physical Properties of Methyl Orange Doped PMMA" , " University of Technology", "2008", Pp"7,9,10,30" .

[11]M.M.Coleman , D.F.Varnell and J.P.Runt , " Polymer Science and Technology" , " Polymer Alloys " , N.Y.Plenum , New York , (1983).

[12]N.L.Hanox, "Fiber Composites Hybrid Materials" ,Oxford Shire, U.K, "1981", Pp"24_30".

[13]V. Balzani, F BoUetta, M Teresa Gandolfi, and Mauro Maestri, "Bimolecular Electron Transfer Reactions of the Excited States of Transition Metal Complexes" , dell' Universitfi, 1978, Pp(4_5,9).

[14]I. Klein and W.Jules Lindau , " Introduction to Polymer Science and Technology " , New York , (1977).

من عدد الفجوات الهوائية وكمية الطاقة الحرارية المكتسبة وتزيد من ثابت العزل الكهربائي ومعامل التوصيلية الحرارية.

(2) يمتلك styropore غير المذاب ثابت عزل كهربائي أعلى وصلادة أقل بكثير من المذاب .

(3) أن زيادة دقائق الكربون المضاف الى styropore المذاب بالبنزين تقلل من الطاقة الحرارية المفقودة .

المصادر

[1]M. Pandurangappa1, T. Ramakrishnappa1, Richard G , "NitroazobenzeneFunctionalized Carbon Powder: Spectroscopic Evidence for Molecular Cleavage", "Int. J. Electrochem. Sci.", "Bangalore University" , Vol.3 , "2008" , Pp"1218_1235".

[2]R. Schlogl's , "Spacing up Styrene Chemistry with Nano_Onions", "Maxplanck Reserch " , "Material Science" ,(1/2003) , Pp(45).

[3]The German Chemical Company, "Styropore", "Technical Information " , N.31755 , January , "1995" , Pp 130.

[4]N. M.Saeed , "Calculate The Values of Some Physical Properties of $Se_{0.3}Te_{0.7}$ Alloy Prepared At Different Substrate Temperatures" , "J.of Al_Nahrain University" , Vol.12(1), "2009", Pp(44_51).

[5]R.E.Evans , " Plastics Polymer Science and Technology " , N.Y.Wiley , New York , (1982).

[6]D.F.Baddley and J.A.Cannon , "Progressive Engineering Materials" , Stoughton and London Hodder , (1988).

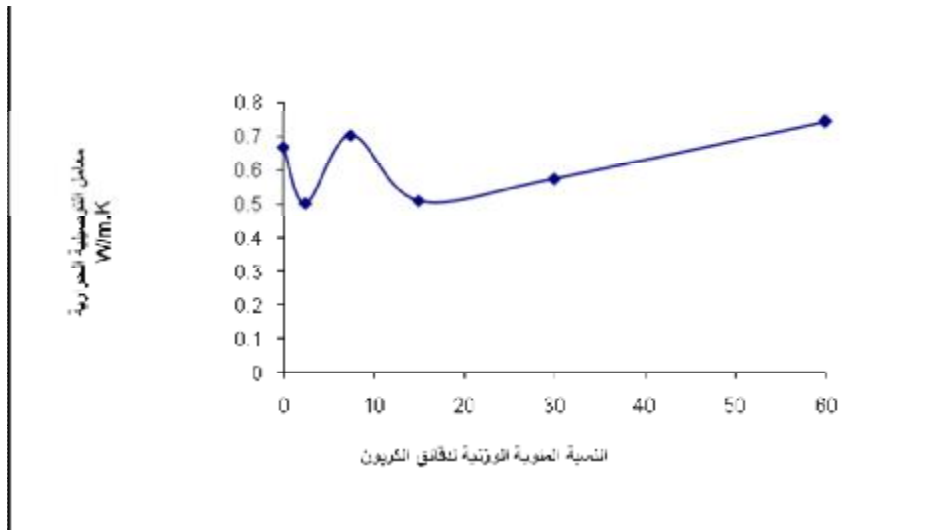
[7]Fred W. Billmeyer and JR. , " Textbook of Polymer Science " , "Second Edition" , A wiley

الملحقات

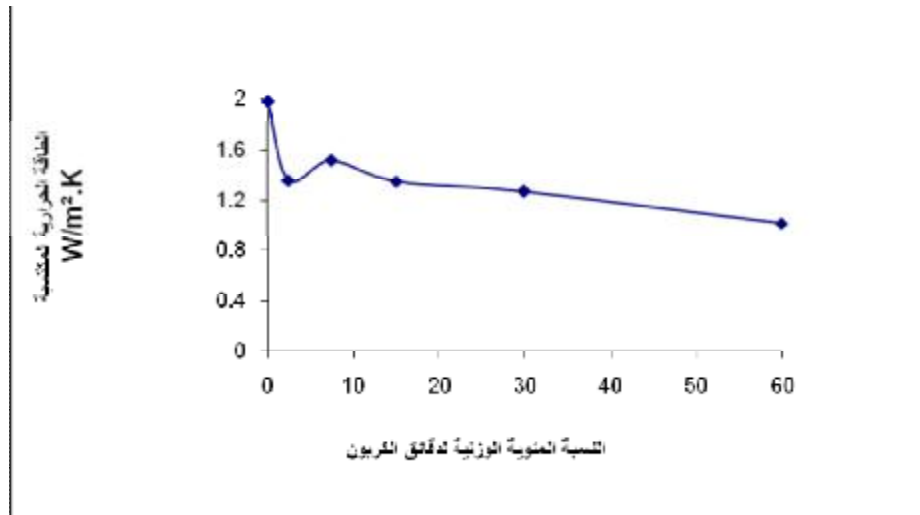
الجدول (1) الخواص الفيزيائية لتأثير

نسب التحضير	صلادة شور D (No)	كمية طاقة المارة عبر وحدة المساحة (W/m ² .K)	التوصيلية الحرارية (W/m.K)	ثابت عزل كهربائي
Styropore غير المذاب	9.7 شور A فقط	1.0177	0.63	149.5
Styropore المذاب 0%	50	1.98	0.67	91.9
2.50%	40	1.36	0.51	95.2
7.50%	11	1.52	0.70	130.9
15%	18.66	1.3495	0.51	97.3
30%	36.66	1.27	0.58	106.4
60%	60.66	1.02	0.75	120.1

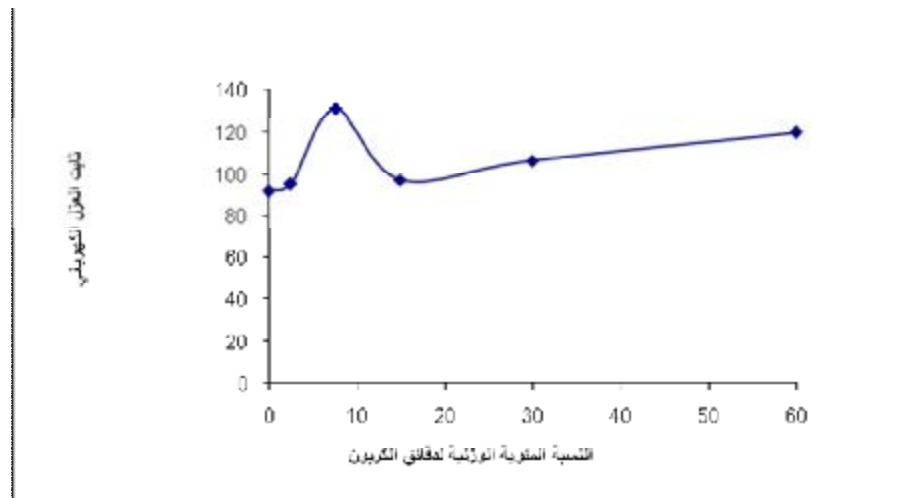
دقائق الكربون على styropore



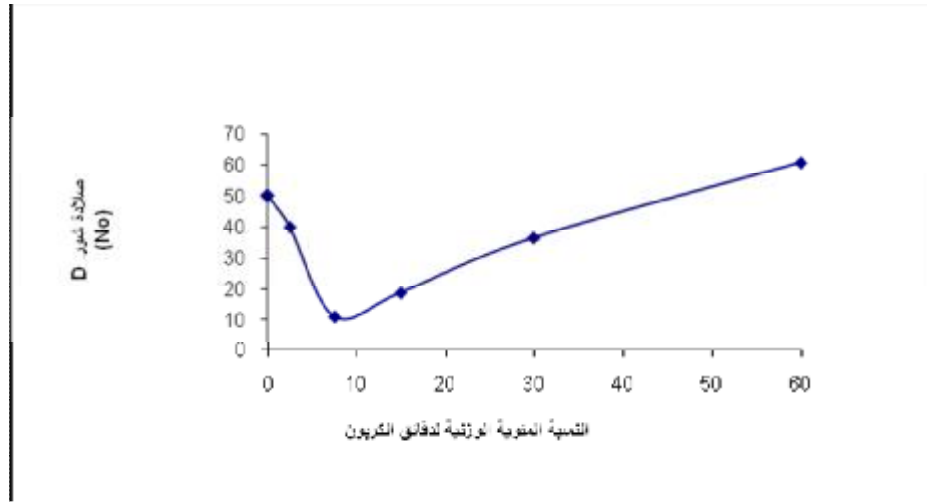
الشكل (1) يبين العلاقة البيانية لتوصيلية الحرارية مع تغير النسب المئوية الوزنية لدقائق الكربون



الشكل (2) يبين العلاقة البيانية للطاقة الحرارية المكتسبة مع تغير النسب المئوية الوزنية لدقائق الكربون



الشكل (3) يبين العلاقة البيانية لثابت العزل الكهربائي مع تغير النسب المئوية الوزنية لدقائق الكربون



الشكل (4) يبين العلاقة البيانية للصلادة مع تغير النسب المئوية الوزنية لدقائق الكربون



الشكل (5) صور للنماذج المصنعة



الشكل (6-a) صورة النموذج Styropore مذاب بالبنزين



الشكل (6-b) صورة لنموذج styropore أضيف إليه (2.5%) من دقائق الكربون



الشكل (6-c) صورة النموذج styropore أضيف اليه (7.5%) من دقائق الكربون



الشكل (6-d) صورة النموذج styropore أضيف اليه (15%) من دقائق الكربون



الشكل (6-e) صورة النموذج styropore أضيف اليه (30%) من دقائق الكربون



الشكل (6-f) صورة النموذج styropore أضيف اليه (60%) من دقائق الكربون

الشكل (6) (a,b,c,d,e,f) أشكال لنماذج قطعت بصورة عرضية من المنتصف لتبين الشكل الداخلي للقطع