تأثير المالئات العضوية على الخواص الميكانيكية والكهربائية للبولي ستايرين

انغام عبد المحسن عبد السادة اريج شاكر محمود نبال حاتم رشيد

وزارة العلوم والتكنلوجيا / دائرة بحوث المواد

بغداد – العراق

الخلاصة

حضرت مواد متراكبة باستخدام البولي ستايرين كمادة أساس ومالئات عضوية مثل مسحوق اسود الكاربون وبنسب وزنيه 10، 40,30,20 و50% وبدرجة حرارة 45 م° ودقائق خشبية محضرة من سعف النخيل وبنسب وزنيه 20 ، 30 ، 35 و40% وبدرجات حرارة 35 م° ، 45 م°، 55م° و65 م° . قيمت المواد المتراكبة من خلال دراسة بعض الخواص الميكانيكية والكهربائية حيث لوحظ زيادة في بعض الخواص الميكانيكية وخاصة للمتراكب المدعم بدقائق السعف عن المتراكب المدعم بأسود الكاربون. فضلا عن ذلك بينت النتائج إن إضافة نسبة 35% من مطحون سعف النخيل إلى البولي ستايرين وبدرجة حرارة 65م° اعطى أفضل المواصفات الميكانيكية وإضافة 20% من اسود الكاربون وبدرجة حرارة 45 م° اعطى أفضل توصيلية كهربائية.

الكلمات المفتاحية : مواد متراكبة ، مالئات عضوية ، اسود الكاربون ، بولي ستايرين و سعف النخيل .

The Effect of Organic Fillers on the Mechanical and Electrical Properties of Polystyrene

Angham Abd Almohsen Abd Alsada Areej Shakir Mahmood Nibal Hatem Rasheed

Ministry of Science and Technology / Directorate of Materials Researches

Baghdad- Iraq

E_ mail: anghamaa@yahoo.com

Abstract

The work deals with the preparation of composite materials of polystyrene with a powder of carbon black with weight percentages of 10,20,30,40% and 50% with temperature 45°C and polystyrene with the dust of date_palm leaves with weight percentages of 20 ,30 ,35 and 40% with temperatures (35°C ,45°C,55°C and 65°C . the composite materials were esti mated according to their , mechanical and electrical properties it was noted that the best mechanical properties was obtained by the addition of 35% of the dust of date-palm leaves to the polystyrene at temperature 65°C and the best electrical conductivity was obtained by the addition of 20% carbon black at temperature 45°C

Key Words: Composite Materials ,Organic Fillers ,Carbon Black ,Polystyrene and Date Palm Leaves.

المقدمة

لغرض الحصول على مواد ذات خصائص ميكانيكية وحرارية وكهربائية مرغوب فيها لابد من تصنيع المواد المتراكبة والمتمثلة في المادة الأساس ومادة التسليح . إن المواد المتراكبة هي عبارة عن بناء مكون من مادتين او أكثر ذات مواصفات مختلفة ترتبط مع بعضها بطريقة معينة لتعطي التراكيب المرغوب فيها وتكون ذات خصائص أفضل من خصائص المواد الداخلة في تكوينها فيما لو استخدمت منـفردة (Christophe *et al.,* 2006)

ونظراً لما تتمتع به المواد المتراكبة من خفة وزن وعزل حراري وكهربائي جيد فقد ازدادت الحاجة الماسة إلى استخدامها في كثير من المجالات المدنية والعسكرية مما حفز الكثير من العاملين في هذا المجال إلى إجراء بعض التعديلات على خواصها وخاصة الخواص الميكانيكية فيها وذلك بتدعيمها بمواد اخرى للوصول إلى الهدف المنشود من استخدامها, في الكثير من التطبيقات تستخدم الحشوات في البوليمرات لأغراض مختلفة منها تقليل الكلفة، تحسين عمليات التصنيع،(Jorgen and Buce,2007) السيطرة على الكثافة، التأثيرات البصرية، التوصيلية الحرارية، السيطرة على التمدد الحراري، الخواص الكهربائية والمغناطيسية، مانع اللهب، وتحسين الخواص الميكانيكية مثل القساوة ومقاومة التمزق. ومن الأنواع الشائعة من الحشوات اسود الكاربون ، حشوات معدنية وحشوات طبيعية وصناعية. تكون مواد التدعيم (الحشوات) بشكل دقائق أو ألياف أو صفائح ... الخ تتوزع بشكل منتظم في المادة الأساس (البوليمر) وهي بذلك تجمع الخصائص الجيدة من مختلف المواد الداخلة في تركيبها علاوة على التخلص من العيوب الموجودة فيها لتكون أكثر ملائمة للتطبيقات الصناعية لذلك يمكن القول إن المادة المتراكبة تتكون من طورين ، الطور الأول ويشمل المادة الأساس والطور الثاني ويشمل مواد الإضافة ويرتبط هذان الطوران ببعضهما عن طريق سطح رابط يدعى السطح البيني. ويعد اسود الكاربون من أهم المالئات التي تعد من احد أصناف المضافات ويستخدم بالأساس كحشوه تقوية للمطاط وزيادة صلادته وثباته تجاه الأشعة فوق البنفسجية وفي طلاء الأصباغ حيث يكون فيها اللون الأسود مطلوبا وكذلك ما يتمتع به اسود الكاربون من خاصية التوصيل الكهربائي العالي فان تضمينه مع البوليمرات العازلة قد أضاف بعدا آخر على أهمية المواد البوليمرية في مجال استعمالها في التطبيقات الكهربائية والالكتروليتية حيث توصلت البحوث الحديثة إلى إمكانية الزيادة والتحكم في مدى التوصيلية الكهربائية للمواد البوليمرية العازلة . إن إمكانية التوصيل الكهربائي في البوليمرات المتضمنة اسود الكاربون تعود إلى مركبة حاملات الشحنات الحرة والمتنقلة عبر ذرات ومجاميع اسود الكاربون اذ إن عند إضافة اسود الكاربون ستحدث عملية تمازج أو خلط الكتروليتي داخل المادة المتراكبة (البولي ستايرين– اسود الكاربون) وبذلك تتحسن الخاصية التوصيلية للمادة المتراكبة بعد الإضافة ويعتمد هذا التحسن على تركيز دقائق المضاف. اما الغرض من استخدام دقائق سعف النخيل فهو لتحسين الخواص الميكانيكية للمتراكب وزياده الترابط الكيميائي بين تلك الدقائق والبوليمر (EImat,2006 ;Jane ,2006 : Gamboa , *et al* ., 1997).

يهدف البحث الى تحضير عينات من متراكب البولي ستايرين مع دقائق خشبية محضرة من سعف النخيل بنسب وزنية مختلفة وعينات اخرى من متراكب البولي ستايرين مع مسحوق اسود الكاربون ايضا بنسب وزنية

مختلفة ودراسة تاثير هذه المالئات العضوية على الخواص الميكانيكية والكهربائية للبولي ستايرين

المـــــواد وطـــرائق العمـــل

المواد المستخدمة ومواصفاتها

أ- بيروكســـيد البنـــزويـــل
Benzoyl peroxide$(C_6H_5.CO)_2O_2$
BDH Chemicals Ltd

ب- البولي ستايرين Poly styrene
Pellets , Density 1.047 , Tg 100 ,
Tm 237.5 المنشأ ايراني

جـ - ألتلوين MERCK (Toluene ($C_6H_5CH_3$

د- اسود الكاربون Carbon black المحتويات المتطايرة 5% اقصى قيمة للرطوبة 6% الرماد في المسحوق 0.02% الكثافـــة الحجمـية 0.13 g/ml معدل حـــجم الدقيقـة 130 A

هـ - سعف
F Z 102 (Micro Plant Grinding Machine)
ثم نخل الناتج المطحون بالمنخل USA Standard Testing sieve NO -

و- جهاز قياس الصلادة HARDNESS TESTER SHORE D شكل (HT 65 10 D) . (9)
30 (opening micrometer 600).

الاجـــــهزة المـــــستخدمة

أ- مـعدات زجاجية تشمل بيكرات مختافة الاحجام ومحـــــرار لقيـــاس الحـــــرارة .

ب- -الاجـــــهزة وتشـــــمل

1- مـــيزان كـــهربـائـــي نـــــــوع KERN (440 – 47 N)

2- خلاط ميـــــكانيكي نوع RQ 122 REMI MOTORS LTD (RPM 4000) MuMBAI – 53 (INDIA)

3- محـــرك مغـناطـــــيسي حـــــراري IKA RH basic 2 (Type RH B2)

4- جهاز قيـــــاس Tensile strength (Tinius olsen 50KN) H50KT شكل (10)

طريقة العمل

أ- ذوب البولي ستايرين في التلوين واضيف اليه بيروكسيد البنزويل لما له من دور تحفيزي لعمليات التفاعل الكيمياوي حيث يعتبر باديء للتفاعل وتم استخدامه بنسب 0.5 ،1 ،1.5 و2% بعد خلطها جيدا في بيكر التفاعل الموضوع داخل حوض مائي بأستخدام محرك مغناطيسي حراري لغرض الخلط ولمدة 5 ساعات والتسخين الى درجة حرارة 45 م° . ثم صب الناتج في القالب الخاص و ترك ليـــجف لفتـــــرة تتـــــراوح بيـــن 4-6 يوم وبعدها اخذ النموذج للتقطيع على هيئة شرائط ذات نهايتين نصف دائريتين على ان يكون سطحها خالي من الشقوق او التخدشات لتجنب حدوث نقاط تركيز الجهد في تلك الشقوق مما يؤدي الى حصول نتائج خاطئة عند الفحص. ثم ارسل القالب الى الفحص بجهاز Tensile Strength وجهاز الـ Hardness Tester

حيث تم اعتماد التركيز بنسبة 1% من البادئ كأحسن نسبة للاضافة . اذيب البولي ستايرين في التلوين في بيكر التفاعل واضيف البـادئ المستـخدم (بيروكسيد البنزويل) بتركـيز 1% مع التـــحريك المستمر باستخدام المحرك المغناطيسي الحراري للوصول الى

النخيل

حضر مطحون سعف النخيل نوع خستاوي بتقطيع السعف الى قطع صغيرة ثم طحن بأســـتخدام طاحـــونه نـــــوع جيدا بأستخدام المحرك الميكانيكي للحصول على تجانس تام ولمدة خمس ساعات مع التحريك المستمر وبعدها صب المنتج في القالب لـيجف لـفترة بين 4-6 يوم وبعدها تجرى الفحوصات الميكانيكية .

درجة حرارة 45 م° واضـيـف المالـئ العضـــوي (مطحون سعف النخـــيل) وبنـسب وزنـيـــة 35,30,20 و40% على التوالي و خلطها

ب- دراسة الظروف المثلى للحصول على متراكب البولي ستايرين – سعف النخيل . ذات خواص ميكانيكية عالية . حيث اجريت عدة تجارب وبدرجات 35 ، 45، 55 و 65 °م .
تجرى له الفحوصات الميكانيكية .

النتائج والمناقشة

اجريت الاختبارات الميكانيكية اولا على البولي ستايرين بدون اي اضافة ثم اضافة بيروكسيد البنزويل بنسب 0,5 , 1, 5 ,1 و 2% لمعرفة النسبة التي اعطت احسن النتائج كما هو موضح في الجدول (1) والشكل (5) ثم اجريت الاختبارات الميكانيكية على البولي ستايرين بعد تدعيمه بدقائق مطحون سعف النخيل وبنسب 20 , 30 , 35 و40 % وبدرجة حرارة 45 م° كما موضح في جدول (2) وشكل(6) حيث تبين ان النسبة 35 % من مطحون سعف النخيل هي التي اعطت احسن الخواص الميكانيكية وتم تثبيت هذه النسبة واعتمادها في اجراء التفاعل مع تغيير درجات حرارة التفاعل للاتي : 35, 45 55 و65 م° ثم اجرينا الاختبارات الميكانيكية على البولي ستايرين كما موضح في جدول(3) وشكل(7).اما بالنسبة الى البولي ستايرين المدعم بالمالئ العضوي الثاني (مسحوق اسود الكاربون) فقد اجريت الاختبارات الميكانيكية عليهما كم موضح في جدول(4) وشكل (8) كما اجريت له فحوصات التوصيلية الكهربائية كما موضح في الاشكال 1، 2 ، 3 ، 4 .

جدول(1) الخواص الميكانيكية للبولي ستايرين بتراكيز مختلفة من بادئ التفاعل (بنزويل بيروكسيد) عند درجة حرارة 45 م°

الخواص الميكانيكية	بادئ التفاعل بتركيز 0%	بادئ لتفاعل بتركيز 0,5%	بادئ التفاعل بتركيز 1%	بادئ التفاعل بتركيز 1 ،5 %	بادئ التفاعل بتركيز 2%
الكثافة غم /سم ^{3}	1 , 05	1 , 05	1 , 05	1 , 0 5	1 , 05
القوة (نيوتن)	18 , 5	11 , 5	23 , 5	20	11 , 5
الاجهاد (Mpa)	0 , 21	0 , 31	0 , 4583	0 , 35	0 ,25
الاستطالة	75	40 , 75	10 ,03	34 , 75	15
الصلابة (shorD)	47 , 05	50 , 82	67 ,1	51	44 , 8

جدول(2)الخواص الميكانيكية لمتراكب البولي ستايرين – مطحون سعف النخيل بتراكيز مختلفة وتركيز 1% من باديء التفاعل عند درجة حرارة 45 م°

الخواص الميكانيكية	بولي ستايرين	* تركيز20%	* تركيز 30 %	* تركيز 35 %	* تركيز 40%
الكثافة غم / سم^3	1 ,05	1 ,08	1 , 1	1 ,15	1 , 15
القوة (نيوتن)	2 3 , 5	150	63 ,5	213 ,5	221 , 5
الاجهاد (Mpa)	0 , 4583	2, 413	0 ,543	4 ,423	3 ,449
الاستطالة %	1 0 ,03	3 ,975	3 ,389	1 ,125	1 ,425
الصلادة (shor D)	6 7 ,1	58, 3	38 ,3	76 ,6	64 ,4
قوة الترابط	15 ,24	16 , 28	18 ,36	17 ,59	17 ,85

*تركيز ؛ تركيز مطحون سعف النخيل

جدول(3) الخواص الميكانيكية لمتراكب بولي ستايرين – مطحون سعف النخيل بتركيز 35% وبتركيز 1% من باديء التفاعل وعند درجات حرارية مختلفة

الخواص الميكانيكية	البولي ستايرين	درجة لحرارة 35 ° م	درجة الحرارة 45° م	درجة الحرارة 55° م	درجة لحرارة 65° م
الكثافة غم/سم^3	1 ,05	1 ,15	1 ,15	1 ,15	1 ,15
القوة (نيوتن)	24 , 5	226 ,7	213 , 5	196 , 7	230
الاجهاد (Mpa)	0 ,4584	3 ,0 53	4 ,423	3, 106	3 , 46
الاستطالة %	10 , 03	1 , 28	1 ,125	1 , 163	1 , 345
الصلادة (ShorD)	67 ,24	56 , 7	76 ,7	78 ,7	79 ,8
قوة الترابط	15 ,24	9 , 23	17 ,59	10 ,6	12 ,07

جدول(4) الخواص الميكانيكية لمتراكب البولي ستايرين – اسود الكاربون بتراكيزمختلفة وبتركيز 1% من باديء التفاعل عند درجة حرارة 45 م°

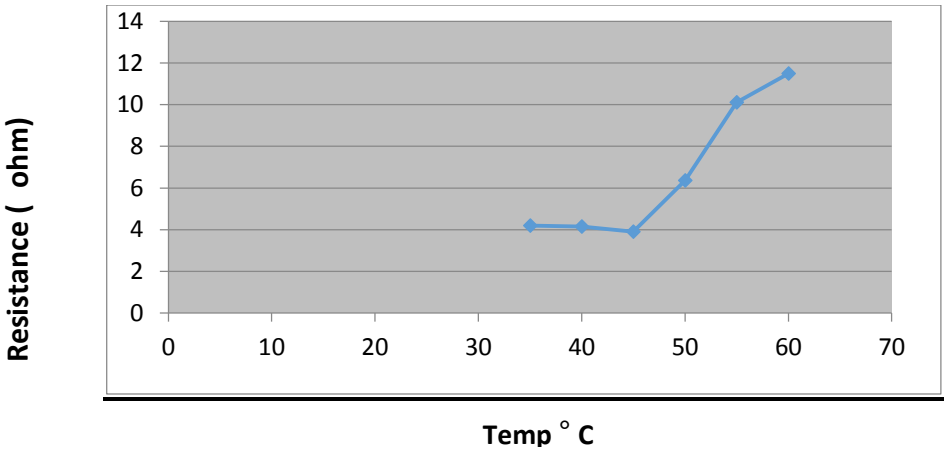
الخواص الميكانيكية	البولي ستايرين	تركيز %10	تركيز 20 %	تركيز 30 %	تركيز 40%	تركيز 50 %
الكثافة غم/سم^3	1 ,05	1 ,06	1 ,08	1 ,1	1 ,15	1 ,18
القوة (نيوتن)	23 , 5	28 ,5	21 ,5	20	50	28 ,5
الجهاد (Mpa)	0 , 4583	0 ,546	0 ,4945	0 ,4571	0 ,837	0 ,396
الاستطالة %	10 , 03	3 , 719	9 ,75	3 ,81	8 ,3	6 ,82
الصلادة (Shor D)	67 ,1	34 ,9	31 ,9	35 ,1	34 ,6	36 ,6
قوة الترابط (Mpa)	15 ,24	1 ,683	1 ,901	1 ,799	1 ,4387	0,4387

يلاحظ من جدول (2) حصول تحسن بالمواصفات الميكانيكية للمتراكب بولي ستايرين المدعم بدقائق مطحون سعف النخيل عن البولي ستايرين الخام لأنه عند تدعيم المادة البوليمرية بالحشوات فان هذه الحشوات الدقائقية سوف تعمل على إعاقة نمو الشقوق الدقيقة وتزداد المتانة بواسطة قابلية الحشوات على إعاقة الكسور وكذلك فان الدقائق نفسها تمتلك متانة وصلادة عالية مما يؤدي إلى زيادة صلادة المادة المتراكبة) (Jane ,2006

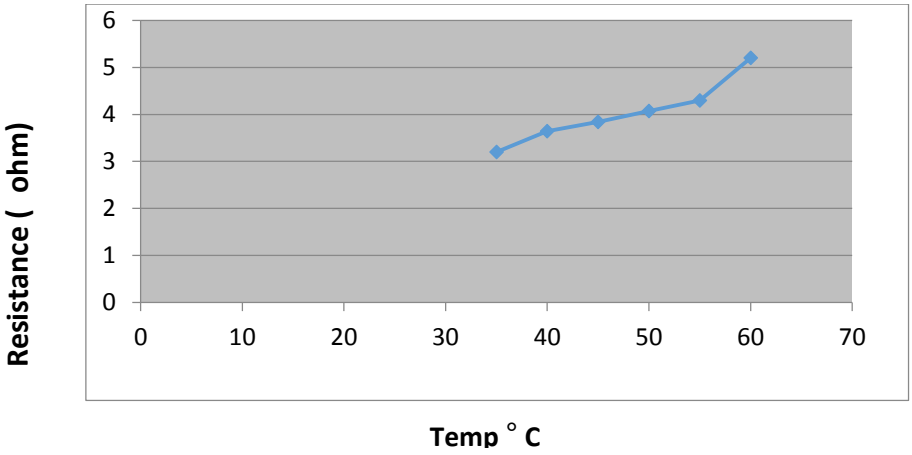
وقد أعطت النسبة 35% أفضل المواصفات لذلك اعتمدت هذه النسبة في عمل خلطات أخرى مع تغيير درجات الحرارة ويلاحظ من الجدول رقم (3) ان هناك تحسن في معظم المواصفات عند ارتفاع درجة الحرارة وخصوصا عند درجة حرارة (65 م°) وذلك لان زيادة درجة حرارة التسخين يؤدي إلى زيادة درجة حرارة نضج المزيج ويعود السبب في هذا إلى زيادة كمية الحرارة المكتسبة من قبل المادة الأساس (البولي ستايرين) بزيادة درجة حرارة وسط التسخين الأمر الذي يسبب زيادة في حدة التفاعلات الكيمياوية والذي يؤدي الى تسريع عملية نضج البوليمر. (Mansur and Hatra ,2005)

(صالح و شبيب ، 2010) . إن للمضافات تأثير على الخواص المختلفة للبوليمرات حيث تعمل أنواع منها على زيادة الخواص الميكانيكية بصورة عامة وليس لها تأثير على الخواص الكهربائية كما حصل عند إضافة مطحون سعف النخيل إلى البولي ستايرين . أما في حالة اسود الكاربون فان إضافته أدت إلى تحسن طفيف في بعض الخواص الميكانيكية حسب الجدول رقم (4) ،بينما أدت إلى زيادة في الخواص الكهربائية للبوليمر وذلك لما يتمتع به اسود الكاربون من خاصية التوصيل الكهربائي العالي.

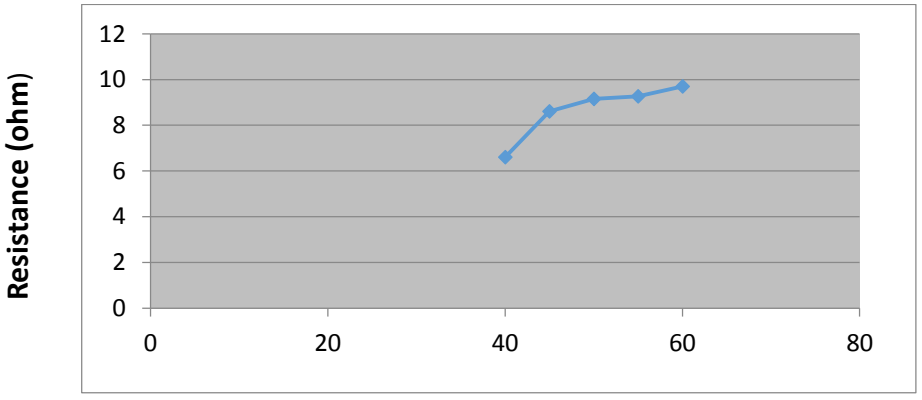
لذلك فان تضمينه مع البوليمرات العازلة وتحسينه لخواصها الكهربائية أضاف بعدا أخر على أهمية المواد البوليمرية في مجال استعمالها في التطبيقات الكهربائية والالكترونية وتوضح الاشكال (1 ،2 ، 3 ،4) سلوك البولي ستايرين بعد تدعيمه بتراكيز مختلفة من اسود الكاربون حيث لوحظ ان البولي ستايرين قد تحول من بوليمر عازل الى بوليمر موصل ويعتمد هذا التغير على التراكيز المستخدمة من اسود الكاربون(Serin *et al.*, 2006),
(Gambow, 1997),) (Elimat,2006



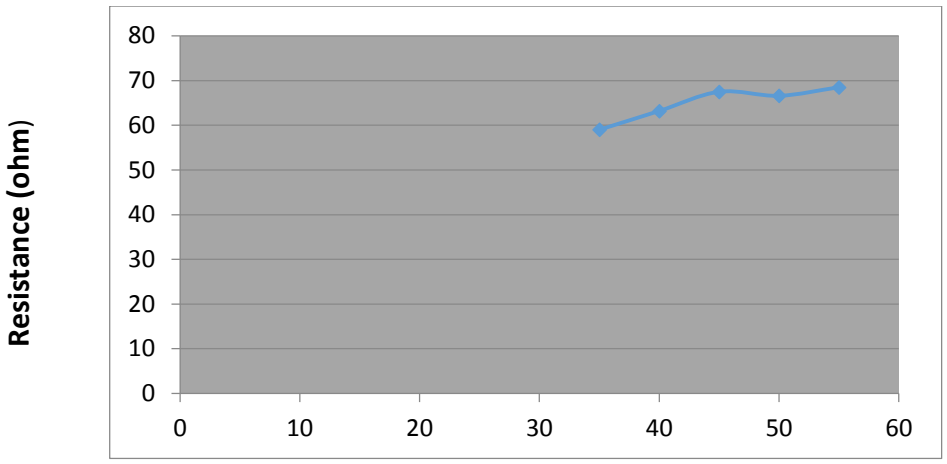
شكل(1) العلاقة بين درجة الحرارة والمقاومة لتوضيح سلوك البولي ستايرين المدعم بأسود الكاربون بتركيز 10% كموصل للكهربائية



شكل (2) العلاقة بين درجة الحرارة والمقاومة لتوضيح سلوك البولي ستايرين المدعم باسود الكاربون بتركيز20%كموصل للكهربائية

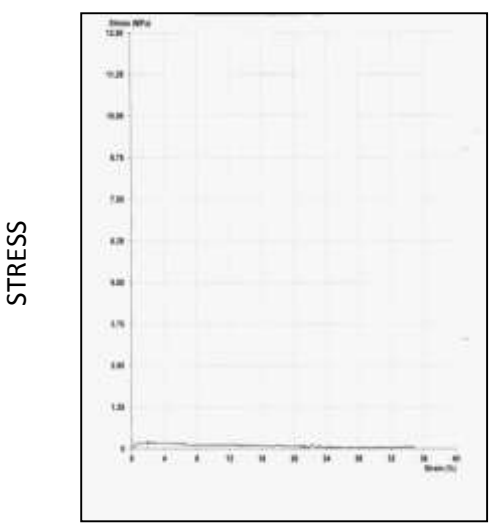


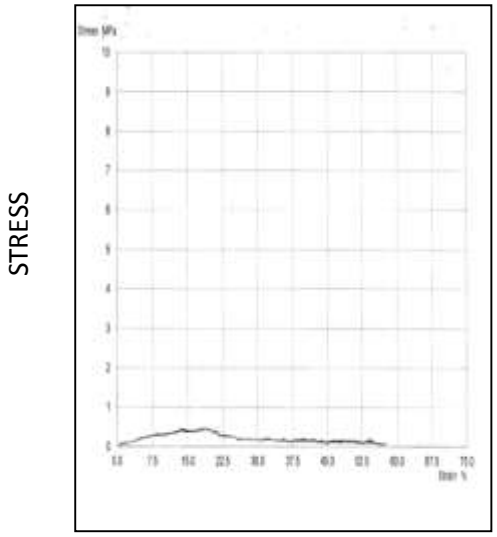
شكل (3) العلاقة بين درجة الحرارة والمقاومة لتوضيح سلوك البولي ستايرين المدعم بأسود الكاربون بتركيز 40% كموصل للكهربائية

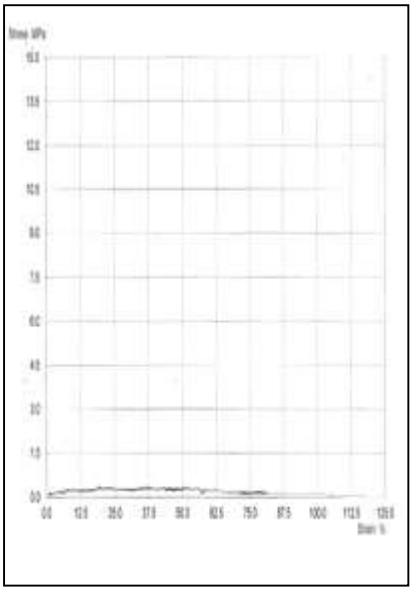


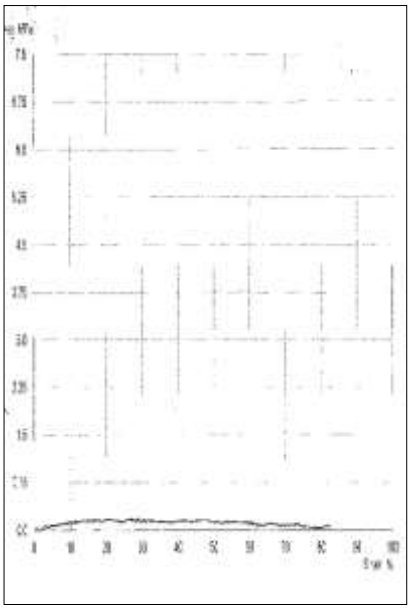
شكل (4) العلاقة بين درجة الحرارة والمقاومة لتوضيح سلوك البولي ستايرين المدعم بأسود الكاربون بتركيز 50% كموصل للكهربائية

ولوحظ تحسن في التوصيلية الكهربائية للبوليمر مع تركيز اسود الكاربون حيث تبدأ التوصيلية بالزيادة التدريجية مع التراكيزين 10 و20% كما مبين في الشكلين 1, 2 يتبعها هبوط في التوصيلية الكهربائية مع زيادة التركيز الى 40% و50% كما مبين في الشكلين 3 , 4. ويعزى ذلك إلى انه عند منطقة التراكيز الواطئة تعمل ذرات اسود الكاربون الموزعة بصورة عشوائية على تكوين ممرات شبه موصلة من خلال التقارب بين ذرات اسود الكاربون والتي تتم من خلالها تبادل حاملات الشحنة الحرة الأمر الذي يفسر زيادة التوصيلية مع التركيز بينما يلاحظ إن زيادة اكبر للتركيز تعمل على تكوين عقد من ذرات اسود الكاربون التي تتجمع بصورة عشوائية مؤدية إلى قطع السلاسل الموصلة وزيادة المسافات البينية بينها الأمر الذي يؤدي إلى هبوط التوصيلية مع زيادة التركيز (Serin *et al.*, 2006)

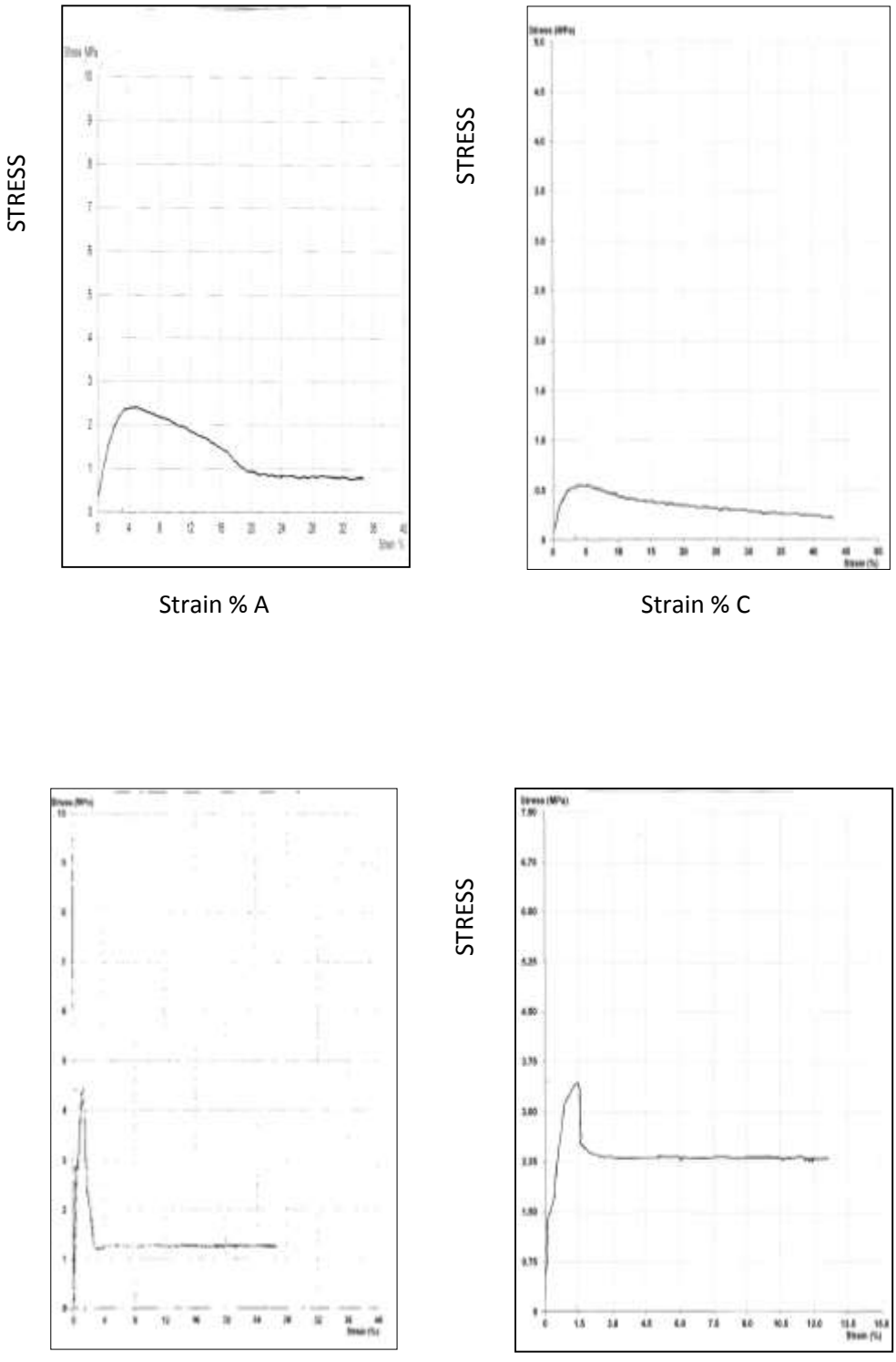






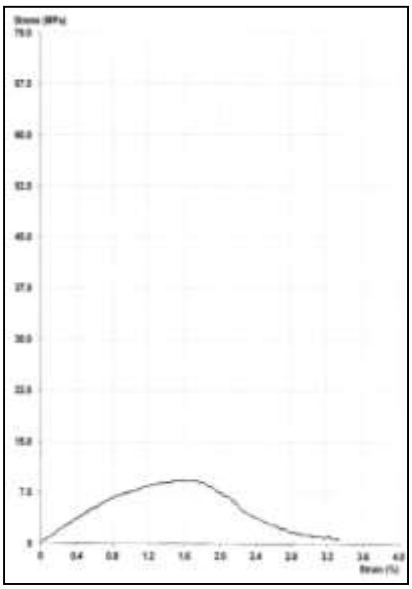


شكل (5) العلاقة بين الاجهاد(Strees) والتوتر(Strain) للبولي ستارين باستخدام تراكيز مختلفة من بادئ التفاعل (بنزويل بيروكسيد) بتراكيز A (0,5 %) ، B(1%)، C (1,5 %) ، D (2%) .عند درجة حرارة 45 م° وتم اختيار تركيز 1% كاحسن تركيز لبادئ التفاعل.



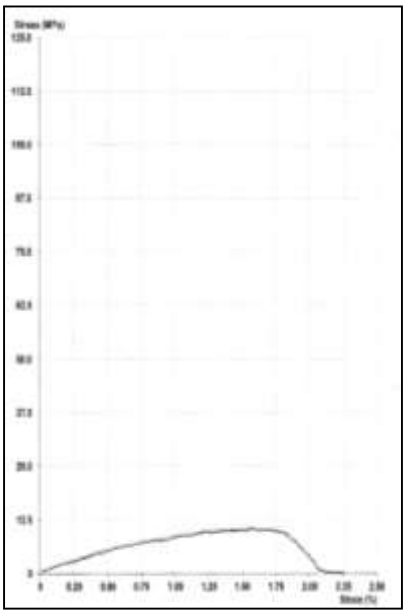
شكل (6) العلاقة بين الاجهاد(stress) والتوتر (strain) لمتراكب البولي ستايرين - مطحون سعف النخيل بتراكيز A (20 %)، B(30 %) ، C (35 %) ، D (40 %) وعند درجة حرارة 45 م° .

STRESS



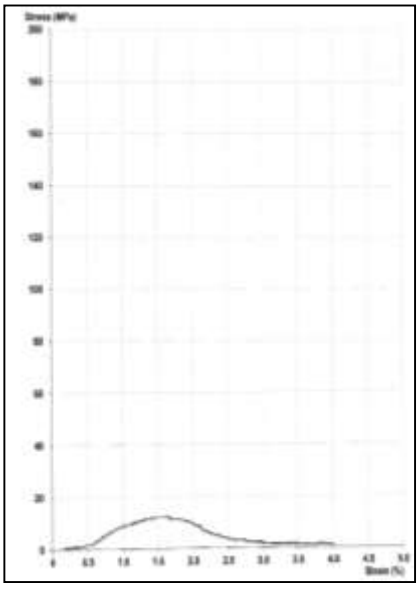
Strain % A

STRESS



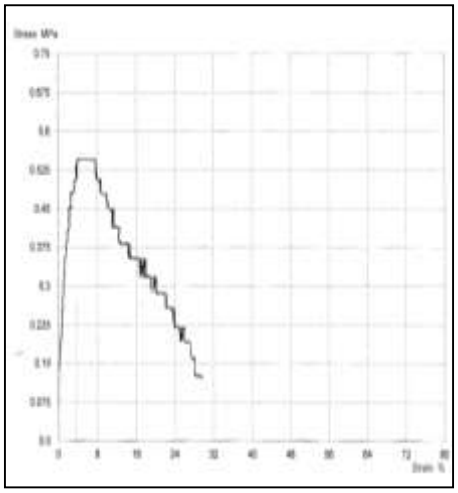
Strain % C

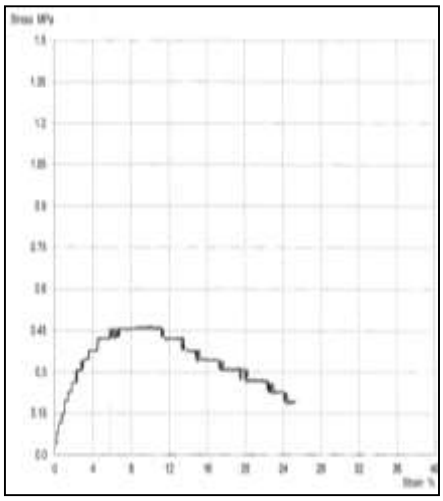
STRESS

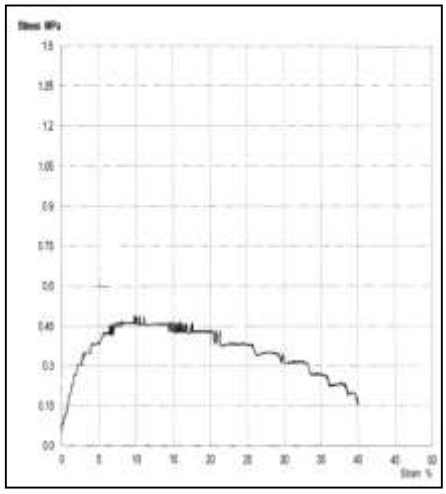


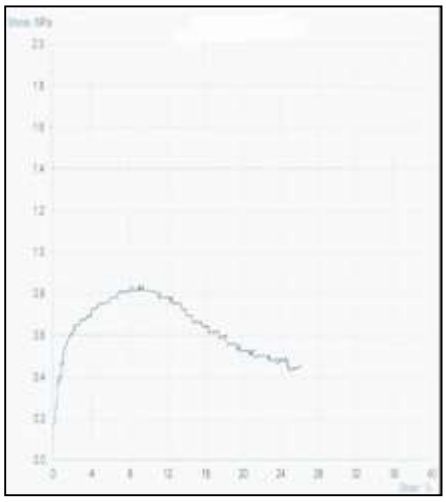
Strain % B

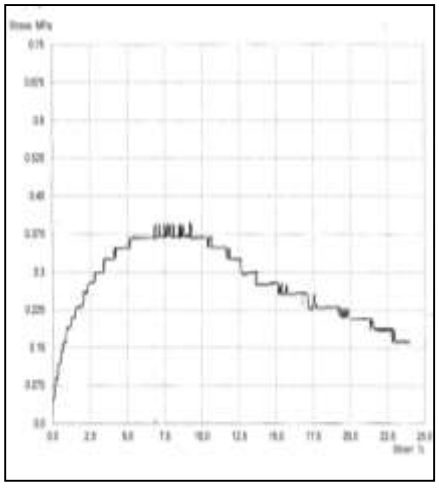
شكل (7) العلاقة بين الاجهاد (stress) والتوتر (strain) لمتراكب بولي ستايرين - مطحون سعف النخيل بتركيز 35% وبتركيز 1% من بادئ التفاعل وعند درجات حرارة مختلفة A(35 م) ، B (55°م) , C(65م^5).











شكل (8) العلاقة بين الاجهاد (stress) والتوتر (strain) لمتراكب البولي ستايرين -اسود الكاربون بتراكيز مختلفة A(10%) ، B(20%)، C(30%)، D(40%)، E(50%) وبتركيز 1% من بادئ التفاعل عند درجة حرارة 45 °C .

شكل (9) جهاز قياس الصلادة HARDNESS TESTER SHORE D (HT 65 10D)

شكل (10) جهاز قياس قوة الشد H50KT (Tinius oisten 50KN) Tensile strength

الاستنتاجات والتوصيات

ان الدقائق الخشبية المحضرة من سعف النخيل والتي استخدمت كحشوات للبولي ستايرين ادت الى تحسين في الخصائص الميكانيكـــية وخاصة عـــند النسبة المضافة 35% من هذه الدقائق كما ان درجة الحرارة 65 م° التي اعتمدت في عملية تحضير المتراكب هي الافضـل في الحصـول على احـــسن الخصائص الميكانيكية اما في حالة اسود الكاربون فان اضافته ادت الى تحسن طفيف في بعض الخصائص الميكانيكية بينـما ادت الى زيـــادة في الخواص الكـــهربائية للبولي ستايرين وخاصة عند التركيزين 10 و0.2% .

المصادر

صالح ، سهامةعيسى وشبيب،كاظـم مطـــــر .(2010)، دراسـة الخواص الميكانيكية لمواد متراكبـة ذات اساس بوليمـــري مقواة بالالياـــاف والدقـــائق مجلـــة الهندسة والتكنلوجيا 28 (4) ،81 –94 .

Christophe, B.Y.; Perrot and Peter, D. (2006).Mechanical Properties of Composites Based OnLow Styrene Emission Polyester Resins for Marine Application .Journal of Applied CompositeMaterials 13 (1) January, 1-22.

Elimat, Z.M.(2006) AC Electrical Conductivity of Poly (Methyl Metaacrylate) / Carbon Black Composite Journal of Physics D: Applied Physics .39 ,3824- 2828.

Gamboa,K.M.N.;Ferreira, A.J. and Camargo, S.S (1997). Electrical Conductivity of Polystyrene /Styrene-Butadiene Block Copolymer Blends Containing Carbon Black .Polymer Bulletin 38,95 – 100.

Jane,M .M .(2006) .Comparisonof Tensile Strength of Different Carbon Fabric Reinforced Epoxy Composites. Journal of Materials Research.(9)(1) December, 83-89**.**

Jorgen, M.and Bruce, G .(2007) .Ullm ann'S Encyclopedia of Industrial Chemistry .Poly Styrene and Styrene Co Polymers ,2-11.

Mansur ,R. and Hatra, A.(2005) .The Effect of Organic Fillers on the Curing Curves of Unsaturated Polyester Composites . Journal For Studies and Scintific Research – engineering Sciences Series Tishreen University (27) (1) , 82- 96 .

Serin, M. ; Sakar, D.; Cankurtaran,O. and Karman, F. (2006). Doping Type Effect on Electrical Conductivity of Poly (2,6-dimethyl----1,4-phenylene ox ide) and Electrical Properties of Doped Undoped Poly (2,6- Dimethyl -1,4-phenylene Oxide) /Ardel D-100 Films. Jornal of Metaacrylate) / Carbon Black Composite Journal of Physics D: Applied Physics .39 ,3824- 2828 .