



جمهورية العراق
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة ديالى
كلية العلوم
قسم الفيزياء



دراسة الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للمتراكب النانوي راتنج الايبوكسي- (كرافين – سليكا) الهجين

رسالة قدمتها الى
مجلس كلية العلوم – جامعة ديالى وهي جزء من متطلبات نيل درجة ماجستير
علوم في الفيزياء

الطالبة

ضحى صبيح خلف نوري
بكالوريوس علوم فيزياء 2011 م

بإشراف

أ.م.د.نادية محمد جاسم

أ.م. د.الفت احمد محمود

2020 م

1442 هـ

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

قَالُوا سُبْحَانَ رَبِّكَ اللَّهُمَّ
مَا شَاءَ مَا شَاءَ مَا شَاءَ مَا شَاءَ

لِنَا اللَّهُمَّ اجْلِسْنَا
مَا شَاءَ مَا شَاءَ مَا شَاءَ مَا شَاءَ

رَبِّكَ رَبِّكَ رَبِّكَ رَبِّكَ
مَا شَاءَ مَا شَاءَ مَا شَاءَ مَا شَاءَ

عِزِّكَ اللَّهُمَّ الْعِظَمَاءُ
مَا شَاءَ مَا شَاءَ مَا شَاءَ مَا شَاءَ

سورة البقرة آية (32)

شكر وتقدير

أحمدُ الله عز وجل كما يليق بجلال وجهه وعظيم سلطانه، واشكره على نعمه التي لا تعد ولا تحصى وارفع إليه اسمى آيات الحمد والثناء حتى يرضى، واسجد حمداً وشكراً أن من علي بنعمة الصحة والتوفيق إلى طريق العلم والمعرفة، والصلاة والسلام على سيدنا محمد نبي هذه الأمة وقدوة الأولين والآخرين وعلى اله وصحبه وسلم أجمعين .

انطلاقاً من قوله تعالى: ﴿ ومن يشكر فإنما يشكر لنفسه ﴾ ومن قول الرسول (صل الله عليه واله وسلم) (لا يشكر الله من لا يشكر الناس) وإيماناً بفضل الاعتراف بالجميل وتقديم الشكر والامتنان لأصحاب المعروف فإني أتقدم بالشكر الجزيل والثناء العظيم إلى أستاذي الفاضل الدكتورين المشرفين: الاستاذة الدكتورة (لفت احمد) والدكتورة (نادية محمد) على مرحابة صدرهما وما بذلاه من جهد عظيم وإرشاد ومتابعة وتسهيل كل العقبات خلال مراحل انجاز هذا البحث والتي كانت توجيهاتهما هي الفئام الذي خرجت به هذه الرسالة وأقول لهما بشراً كما قال رسول الله (صل الله عليه واله وسلم) (إن الحوت في البحر، والطير في السماء ليصلون على معلم الناس الخير) سأثلا المولى عز وجل أن يثيبهما عني وعن كل من يستفيد من هذه الرسالة خير الأجر والجزاء بإذن الله تعالى .

وأود أن اعبر عن أمتناني وشكري الى عمادة كلية العلوم ورئيسة قسم الفيزياء . كما أتقدم بخالص الشكر والتقدير إلى الجامعة التكنولوجية كلية الهندسة قسم المواد ومركز

النانو كما أقدم بالشكر لوزارة العلوم والتكنولوجيا مركز الفحوصات المتقدمة وأقدم
بالشكر الى كل من ساعدني على إتمام هذا البحث وقدم لي العون ومد لي يد المساعدة ونرودني
بالمعلومات اللازمة لإتمام هذا البحث، حيث كانوا عوناً لي في بحثي هذا ونورا يضيء الظلمة التي
كانت تقف أحياناً في طريقي ذكراً منهم (الدكتور زياد طارق (رئيس قسم
الفيزياء) - . وأقدم بشكري الجزيل الى زملائي وزميلاتي طلبة الدراسات العليا (وفاء عبد
الستار وآيات محمد وحنين مهدي وسارة محمود وهالة جاسم ولا مرفاح وعلي منهل ومحمد) .

كما أقدم بخالص الشكر والتقدير الى كل من أعانني من طلبة الدراسات العليا وامننى لهم
مزبدا من التألق والنجاح ، واسأل الله العلي القدير أن يوفقنا لما فيه الخير لخدمة بلدنا العزيز . وفي
الختام اقدم شكري وعرفاني بالجميل الى افراد اسرتي والى اخي الصغير الدكتور
عبد الرحمن لما منحوني من رعاية وتشجيع طيلة مدة الدراسة والبحث ومواكبتهم كل حرف
خط في متن هذه الرسالة داعية من الله عز وجل ان يمدهم بالصحة والعافية .

ضحى

الأهداء

إذا كان الإهداء يعبر ولو بجزء من الوفاء فالإهداء

إلى.. ربي وخالقي ومن لهُ أركعُ.

الله جل جلاله

إلى .. من بلغ الرسالة وأدى الأمانة .. ونصح الأمة .. إلى نبي الرحمة ونور العالمين.

نبينا محمد صل الله عليه واله وسلم

إلى .. الشعب المقهور والمظلوم .. إلى مشاعر الألم والحزن المرسومة على الوجوه .. إلى الأرض التي سكبت دماً .. إلى أرض أجدادي وآبائي.

بلدي العراق

إلى .. من نذرت عمرها في أداء رسالة.. صنعتها من أوراق الصبر.. وطرزتها في ظلام الدهر .. على سراج الأمل.. بلا فتور أو كلل.. رسالة تعلم العطاء كيف يكون العطاء.. وتعلم الوفاء كيف يكون الوفاء.. إليك أُمي أهدي هذه الرسالة.. وشتان بين رسالة ورسالة.. جزاك الله خيراً.. وأمد في عمرك بالصالحات.. فأنت زهرة الحياة ونورها.

أُمي الحبيبة

إلى .. من كَلَّه الله بالهيبة والوقار .. إلى من علمني العطاء بدون انتظار .. إلى من أحمل أسمه بكل افتخار .. أرجو من الله أن يسكنه فسيح جناته.
إلى .. روحاً سكنت التراب ومازالت معي.

والدي العزيز

إلى .. من أرفع رأسي عالياً مفتخراً بهم.. إلى أعلى وأثمن كنز أمتلكه.. إلى من بوجودهم اكتسب قوة ومحبة لا حدود لها.. إلى من عرفت معهم معنى الحياة.. وان كان حبر قلّمي لا يستطيع التعبير عن مشاعري نحوهم.. فمشاعري أكبر من أن اسطرها على الورق.. ولكن لاملِك إلا أن أدعوا الله عز وجل ان يبقيهم ذخراً لي وان لا يحرمني منهم.

اخوتي واخوتي

إلى ... من أرى فيهم حلاوة النجاح وفي ابتسامتهم تزول الهموم والصعاب

إلى ... مستقبلي ومن يحمل أفكارى بناتي :

لارا ويارا

إلى.. رفيق دربي في هذه الحياة.. إلى من تطلع لنجاحي بنظرات الامل

زوجي

الخلاصة

تم في هذا البحث دراسة تأثير اضافة دقائق السليكا النانوية وصفائح الكرافين النانوية على الخواص الميكانيكية والحرارية والكهربائية الى مادة الايبوكسي بوصفها مادة رابطة. وقد تم استعمال طريقة الصب اليدوي لتصنيع متراكبات من الايبوكسي المدعم بدقائق السليكا النانوية وصفائح الكرافين النانوية وبنسب وزنية مختلفة (0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1%) وتم إجراء الفحوصات الميكانيكية المتمثلة بفحص الصلادة والصدمة والانحناء والفحوصات الحرارية المتمثلة بالتوصيلية الحرارية ودرجة الانتقال الزجاجي والتوصيلية الكهربائية المتناوبة والمجهر الالكتروني الماسح .

حيث أظهرت نتائج فحص الصلادة أن صلادة الايبوكسي النقي تزداد بزيادة النسب الوزنية لدقائق السليكا النانوية وصفائح الكرافين النانوية حيث بلغت اعلى قيمة للصلادة عند النسبة الوزنية (1%) وأظهرت نتائج فحص الصدمة زيادة ملحوظة في مقاومة الصدمة عند التدعيم بدقائق السليكا النانوية وصفائح الكرافين النانوية مما عليه في الايبوكسي النقي حيث بلغت اعلى قيمة لمقاومة الصدمة عند النسبة الوزنية (1%). وأظهرت نتائج فحص الانحناء أن معامل الانحناء للايبوكسي تزداد بزيادة النسب الوزنية لدقائق السليكا النانوية وصفائح الكرافين حيث تبلغ اعلى قيمة عند النسبة الوزنية (0.8%).

أظهرت نتائج التوصيل الحراري أن قيم التوصيل الحراري تزداد بزيادة النسب الوزنية المضافة للايبوكسي. وأظهرت نتائج فحص المسعر الحراري (DCS) أن درجة الانتقال الزجاجي للايبوكسي النقي تبدأ بالزيادة تدريجيا عند اضافة مواد التدعيم (دقائق السليكا النانوية وصفائح الكرافين النانوية) حيث تبلغ اعلى قيمة عند النسبة الوزنية (0.8%).

أظهرت نتائج الفحص الكهربائي زيادة التوصيلية الكهربائية المتناوبة للايبوكسي النقي بزيادة النسب الوزنية لمواد التدعيم (دقائق السليكا النانوية وصفائح الكرافين النانوية) وزيادة التردد. وأظهرت نتائج فحص SEM تحسن مقاومة الخدوش والصلابة للمترابكات النانوية وبالتالي تحسن في العديد من الخواص الميكانيكية عند اضافة دقائق السليكا النانوية وصفائح الكرافين النانوي.

المحتويات

الصفحة	الموضوع	التسلسل
	الخلاصة	1
I-IV	المحتويات	2
V - VI	قائمة الرموز	3
VII	قائمة المختصرات	4
VII	قائمة الجداول	5
IX - XI	قائمة الاشكال	6

الفصل الأول : (المقدمة والدراسات السابقة)

الصفحة	الموضوع	التسلسل
1	(Introduction)	المقدمة (1-1)
1	(Polymers)	البوليمرات (2-1)
2	(Classification of polymers)	تصنيف البوليمرات (1-2-1)
4	(Epoxy Resine)	راتنجات الايبوكسي (2-2-1)
5	(Nanomaterails)	المواد النانوية (3-1)
6	(Classification nanomaterails)	تصنيف المواد النانوية (1-3-1)
6	(One dimension nanomaterials)	مواد نانوية أحادية الأبعاد (1-1-3-1)
6	(Two dimension nanomaterials)	مواد نانوية ثنائية الأبعاد (2-1-3-1)
7	(Three dimension nanomaterials)	مواد نانوية ثلاثية الأبعاد (4-1-3-1)
7	(Zero dimension nanomaterials)	مواد نانوية صفرية الأبعاد (5-1-3-1)
7	(Graphene nanoplateles)	صفائح الكرافين النانوية (2-3-1)
8	(Applications Graphene)	تطبيقات الكرافين (1-2-3-1)
9	(Graphene defects)	عيوب الكرافين (2-2-3-1)
9	(Silica nanoparticles)	جسيمات السليكا النانوية (3-3-1)
10	(Literatures review)	الدراسات السابقة (4-1)
12	(Aim of the work)	الهدف من الدراسة (5-1)

الفصل الثاني: (الجزء النظري)

13	(Introduction)	المقدمة	(1-2)
13	(Composite materials)	المواد المتراكبة	(2-2)
13	(Composites Material Components)	مكونات المواد المتراكبة	(3-2)
13	(Matrix Material)	المادة الاساس	(1-3-2)
14	(Reinforcement Material)	مواد التدعيم	(2-3-2)
17	(Hybrid composites)	المتراكبات الهجينة	(4-2)
18	(Mechanical Properties)	الخصائص الميكانيكية	(5-2)
19	(Hardness Test)	اختبار الصلادة	(1-5-2)
20	(Impact Test)	اختبار الصدمة	(2-5-2)
22	(Bending Test)	اختبار الانحناء	(3-5-2)
24	(Thermal properties)	الخصائص الحرارية	(6-2)
24	(Glass Transition Temperature)	درجة الانتقال الزجاجي	(1-6-2)
25	(Thermal conductivity)	التوصيلية الحرارية	(2-6-2)
27	(Dielectric properties)	الخصائص الكهربائية (العزلية)	(7-2)
30	(Scanning electron microscopy)	المجهر الإلكتروني الماسح	(8-2)

الفصل الثالث: (الجزء العملي)

31	(Introduction)	المقدمة	(1-3)
32	(Used material)	المواد المستخدمة	(2-3)
32	(Matrix Materail)	مادة الأساس	(1-2-3)
32	(Reinforcement Material)	مواد التدعيم	(2-2-3)
34	(The Equipment used and specimens preparation)	الاجهزة المستخدمة وطريقة تحضير العينات	(3-3)
34	(The Equipment used)	الاجهزة المستخدمة	(1-3-3)
36	(Specimens preparation)	تحضير العينات	(4-3)
37		عينات اختبار الانحناء	(5-3)
37		عينات اختبار الصلادة	(6-3)
38		عينات اختبار الصدمة	(7-3)
38		عينات اختبار التوصيل الحراري	(8-3)
39		عينات اختبار التحول الزجاجي	(9-3)
39		عينات اختبار التوصيلية الكهربائية	(10-3)
40	(Equipevice used test)	الاجهزة المستعملة في الاختبارات	(11-3)
40	(Hardnees test device)	جهاز اختبار الصلادة	(1-11-3)
41	(Impact test device)	جهاز اختبار الصدمة	(2-11-3)
41	(Bending test device)	جهاز اختبار الانحناء	(3-11-3)
42	(Thermal conductivitytесе device)	جهاز اختبار التوصيلية الحرارية	(4-11-3)
43	(Glass-Transition Temperature)	جهاز اختبار درجة الانتقال الزجاجي	(5-11-3)
44	(Electrical test device)	جهاز اختبار الفحوصات الكهربائية العزلية	(6-11-3)
44	(Scanning electrone microscopy)	جهاز المجهر الالكتروني الماسح	(7-11-3)

الفصل الرابع: (النتائج والمناقشة)		
45	(Introduction)	المقدمة (1-4)
45	(Mechanical properties)	الخصائص الميكانيكية (2-4)
45	(Hardness test)	اختبار الصلادة (1-2-4)
47	(Impact test)	اختبار الصدمة (2-2-4)
50	(Bending test)	اختبار الانحناء (3-2-4)
55	(Thermalproperties)	الخصائص الحرارية (3-4)
55	(Thermalconductiv)	التوصيلية الحرارية (1-3-4)
58	(Glass-Transition Temperature)	درجة الانتقال الزجاجي (2-3-4)
66	(Electrical Conductivity)	التوصيلية الكهربائية المتناوبة (4-4)
69	(Scanning electrone microscopy)	المجهر الإلكتروني الماسح (5-4)
77	(Conclusions)	الاستنتاجات (6-4)
79	(Future Recommendations)	المشاريع المستقبلية (7-4)

قائمة الرموز

الوحدة	المعنى	الرمز
Kg /m^2	متانة الصدمة	L.S
J	طاقة الكسر	U
m^2	مساحة المقطع	A
Kg-	كتلة الثقل	M
m/sec^2	التعجيل الارضي	G
m	مسافة السقوط	H
$N/.m^2$	اجهاد الثني	σ_{max}
N	الحمل	F
mm	المسافة بين المساند	S
mm	عرض العينة	B
mm	سمك العينة	D
-	أعظم انفعال ثني	Emax
mm	الانحناء	D
mm^4	عزم الانحناء الهندسي	I
-	معامل الثني	EB
-	ميل الجزء الخطي من منحنى (الانحراف – الحمل)	M
-	درجة حرارة الانتقال الزجاجي	Tg
A	التيار الكهربائي المار في ملف المسخن	I
$^{\circ}C$	درجة الانتقال الزجاجي	T _g
g/mol	معدل الوزن الجزيئي	\bar{M}_w
J/S	الحرارة المنتقلة	Q
W/m.k	معامل التوصيل الحراري	K
$W/m^2.k$	كمية الطاقة الحرارية المارة عبر وحدة مساحة مادة القرص لكل ثانية	E
$^{\circ}C$	تمثل درجة حرارة القرص (A,B and C) على التوالي	TA,TB, TC

الوحدة	المعنى	الرمز
M	نصف قطر القرص	R
coulomb	الشحنة الكهربائية المخزونة	q
Volt	الفولتية عبر اللوحين الموصلين	v
Farad	السعة	C
S/m	التوصيلية الكهربائية للمادة	σ
S/m	التوصيلية الكهربائية المستمرة للمادة	$\sigma_{a.c}$
S/m	التوصيلية الكهربائية المتناوبة للمادة	$\sigma_{d.c}$
-	ثابت العزل الكهربائي	ϵ'_r
-	مقياس الفقد في العوازل	ϵ''
Hz	التردد الزاوي	ω
Farad	السعة بوجود الفراغ	C_0
Farad	السعة بوجود المادة العازلة	'C
Farad/m	سماحية المادة العازلة	ϵ
Farad/m	سماحية الفراغ	ϵ_0
-	ظل زاوية الفقد	Tan δ

قائمة المختصرات

المختصر	المعنى
EP	راتنجات الايبوكسي
GNP	طبقات الكرافين النانوية
SiO ₂	ثنائي اوكسيد السليكون (السليكا النانوية)
D _p	درجة البلمرة
PMC	المتراكبات البوليمرية
MMC	المتراكبات المعدنية
CMC	المتراكبات السيراميكية
DSC	المسعر الحراري التفاضلي
T.S	متانة الشد
Y _m	معامل يونك
E _b	الاستطالة حد الكسر

قائمة الجداول

الصفحة	العنوان	الجدول
19	طرق اختبار الصلادة	(1-2)
32	بعض الخصائص الفيزيائية للايبوكسي	(1-3)
32	بعض خصائص الكرافين النانوية	(2-3)
33	بعض خصائص السليكا النانوية	(3-3)
46	قيم الصلادة للايبوكسي المدعمة بالسليكا النانوية والكرافين النانوي	(1-4)
48	قيم مقاومة الصدمة للايبوكسي المدعمة بالسليكا النانوية والكرافين النانوي	(2-4)
51	قيم معامل الانحناء للايبوكسي المدعمة بالسليكا النانوية والكرافين النانوي	(3-4)
53	قيم معامل يونغ للايبوكسي المدعم بالسليكا النانوية والكرافين النانوي	(4-4)
56	قيم التوصيلية الحرارية للايبوكسي المدعم بالسليكا النانوية والكرافين النانوي	(5-4)
58	قيم درجة الانتقال الزجاجي للايبوكسي المدعم بالسليكا النانوية والكرافين النانوي	(6-4)
66	قيم التوصيلية الكهربائية المتناوبة للايبوكسي المدعم بالسليكا النانوية	(7-4)
66	قيم التوصيلية الكهربائية المتناوبة للايبوكسي المدعم بالكرافين النانوي	(8-4)
67	قيم التوصيلية الكهربائية المتناوبة المدعم بالسليكا النانوية والكرافين النانوية	(9-4)

قائمة الاشكال

الصفحة	العنوان	الشكل
2	الانواع الثلاثة لتراكيب السلاسل البوليمرية	(1-1)
5	الاوكسيران (Oxiran)	(2-1)
6	(a) الاسلاك النانوية (b) ا نابيب الكربون النانوية	(3-1)
7	صفائح الكرافين النانوية	(4-1)
8	فجوة الطاقة للكرافين حيث يدل على أنه مادة موصلة بالمقارنة مع مادة شبه موصلة	(5-1)
15	انواع مواد التدعيم	(1-2)
20	مخطط اختبار صلادة التحمل لشور	(2-2)
24	عينة اختبار الانحناء ثلاثي النقط	(3-2)
25	العلاقة بين درجة حرارة التحول الزجاجي والوزن الجزيئي للبوليمر	(4-2)
27	مخطط لجهاز قياس التوصيلية الحرارية (قرص لي)	(5-2)
30	مخطط المجهر الالكتروني الماسح	(6-2)
31	خطوات البحث بمراحله المختلفة	(1-3)
32	الكرافين النانوي	(2-3)
33	دقائق السليكا النانوية	(3-3)
34	الميزان الالكتروني الحساس	(4-3)
35	الخلاط المغناطيسي	(5-3)
35	جهاز الموجات فوق الصوتية	(6-3)
36	ال قالب المستخدم	(7-3)
37	عينات اختبار الانحناء	(8-3)
38	عينات اختبار الصلادة	(9-3)
38	عينات اختبار الصدمة	(10-3)
39	عينات اختبار التوصيلية الحرارية	(11-3)
39	عينات التحول الزجاجي	(12-3)
40	عينات التوصيلية الكهربائية	(13-3)
40	جهاز اختبار الصلادة	(14-3)
41	جهاز اختبار الصدمة	(15-3)
42	جهاز اختبار الانحناء	(16-3)
42	جهاز اختبار التوصيلية الحرارية قرص لي	(17-3)
43	جهاز اختبار الانتقال الزجاجي	(18-3)
44	جهاز اختبار التوصيلية الكهربائية	(19-3)
44	جهاز المجهر الالكتروني الماسح	(20-3)

46	قيم الصلادة للايوكسي المدعم بدقائق السليكا النانوية	(1-4)
47	قيم الصلادة للايبوكسي المدعم بالكرافين النانوي	(2-4)
47	قيم الصلادة للايبوكسي المدعم بدقائق السليكا النانوية و الكرافين النانوي	(3-4)
49	قيم مقاومة الصدمة للايبوكسي المدعمة بدقائق السليكا النانوية	(4-4)
49	قيم مقاومة الصدمة للايبوكسي المدعم بالكرافين النانوية	(5-4)
50	قيم مقاومة الصدمة للايبوكسي المدعم بالكرافين النانوية والسليكا النانوية	(6-4)
51	قيم معامل الانحناء للايبوكسي المدعم بالسليكا النانوية	(7-4)
52	قيم معامل الانحناء للايبوكسي المدعم بالكرافين النانوية	(8-4)
52	قيم معامل الانحناء للايبوكسي المدعم بدقائق السليكا النانوية والكرافين النانوية	(9-4)
53	معامل يونك الانحنائي للايبوكسي المدعم بدقائق السليكا النانوية	(10-4)
54	قيم معامل يونك الانحنائي للايبوكسي المدعم بالكرافين النانوي	(11-4)
54	قيم معامل يونك الانحنائي للايبوكسي المدعم بالسليكا النانوية والكرافين النانوي	(12-4)
56	قيم التوصيلية الحرارية للايبوكسي المدعم بدقائق السليكا النانوية	(13-4)
57	قيم التوصيلية الحرارية للايبوكسي المدعم بالكرافين النانوية	(14-4)
57	قيم التوصيلية الحرارية للايبوكسي المدعم بالسليكا النانوية والكرافين النانوي	(15-4)
59	مخطط (DSC) الحراري للايبوكسي النقي	(16-4)
59	مخطط (DSC) الحراري للايبوكسي المدعم (SiO ₂ 0.1wt%) النانوية	(17-4)
59	مخطط (DSC) الحراري للايبوكسي المدعم (SiO ₂ 0.2wt%) النانوية	(18-4)
60	مخطط (DSC) الحراري للايبوكسي المدعم (SiO ₂ 0.4wt%) النانوية	(19-4)
60	مخطط (DSC) الحراري للايبوكسي المدعم (SiO ₂ 0.6wt%) النانوية	(20-4)
60	مخطط (DSC) الحراري للايبوكسي المدعم (SiO ₂ 0.8wt%) النانوية	(21-4)
61	مخطط (DSC) الحراري للايبوكسي المدعم (SiO ₂ 1wt%) النانوية	(22-4)
61	مخطط (DSC) الحراري للايبوكسي المدعم (GNP0.1wt%) النانوية	(23-4)
61	مخطط (DSC) الحراري للايبوكسي المدعم (GNP 0.2wt%) النانوية	(24-4)
62	مخطط (DSC) الحراري للايبوكسي المدعم (GNP 0.4wt%) النانوية	(25-4)
62	مخطط (DSC) الحراري للايبوكسي المدعم (GNP 0.6wt%) النانوية	(26-4)
62	مخطط (DSC) الحراري للايبوكسي المدعم (GNP 0.8wt%) النانوية	(27-4)
63	مخطط (DSC) الحراري للايبوكسي المدعم (GNP 1wt%) النانوية	(28-4)
63	مخطط (DSC) الحراري للايبوكسي المدعم (SiO ₂ +GNP 0.1wt%) النانوية	(29-4)
63	مخطط (DSC) الحراري للايبوكسي المدعم (SiO ₂ +GNP 0.2wt%) النانوية	(30-4)
64	مخطط (DSC) الحراري للايبوكسي المدعم (SiO ₂ +GNP 0.4wt%) النانوية	(31-4)
64	مخطط (DSC) الحراري للايبوكسي المدعم (SiO ₂ +GNP 0.6wt%) النانوية	(32-4)
64	مخطط (DSC) الحراري للايبوكسي المدعم (SiO ₂ +GNP 0.8wt%) النانوية	(33-4)
65	مخطط (DSC) الحراري للايبوكسي المدعم (SiO ₂ +GNP1wt%) النانوية	(34-3)
66	قيم التوصيلية الكهربائية المتناوبة للايبوكسي المدعم بدقائق السليكا النانوية	(35-4)

67	قيم التوصيلية الكهربائية المتناوبة للايبوكسي المدعم بالكرافين النانوية	(36-4)
68	قيم التوصيلية الكهربائية المتناوبة للايبوكسي النقي المدعم بالسليكا النانوية و الكرافين النانوية	(37-4)
69	يوضح سطح الكسر الهش للايبوكسي النقي	(38-4)
70	يوضح سطح الكسر للايبوكسي المدعم بدقائق السليكا النانوية بنسبة وزنية (0.1wt%)	(39-4)
71	يوضح سطح الكسر للايبوكسي المدعم بدقائق السليكا النانوية للنسبة الوزنية (0.8wt%)	(40-4)
72	يوضح سطح الكسر للايبوكسي المدعم بالكرافين النانوي للنسبة الوزنية (0.1wt%)	(41-4)
73	يوضح سطح الكسر للايبوكسي المدعم بالكرافين النانوي للنسبة الوزنية (0.8wt%)	(42-4)
74	يوضح سطح الكسر للايبوكسي المدعم بدقائق السليكا النانوية و الكرافين النانوي للنسبة (0.1wt%)	(43-4)
75	يوضح سطح الكسر للايبوكسي المدعم بدقائق السليكا النانوية و الكرافين النانوية للنسبة (0.8wt%)	(44-4)



الفصل الأول

المقدمة والدراسات السابقة



(1-1) المقدمة

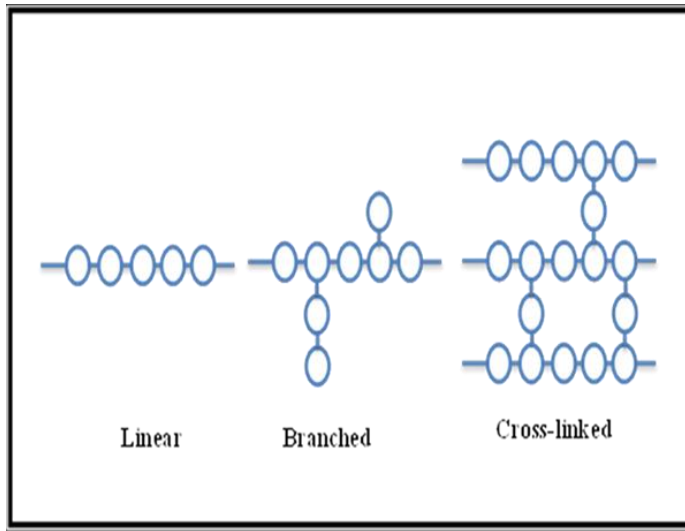
Introduction

لقد تطور علم البوليمرات تطوراً كبيراً في السنوات الأخيرة، وأصبح يدخل في العديد من تفاصيل الحياة اليومية وحل محل العديد من المواد التقليدية في شتى المجالات، إذ أثبتت أهميتها في العديد من الاستعمالات التي تعود إلى خصائصها الكيميائية والميكانيكية التي جعلتها تتنافس المواد التقليدية المستعملة، ولم تظهر هذه الصفات المميزة لها إلا في بداية القرن العشرين إذ شهد العالم بداية التطورات التكنولوجية على يد العالم (Staudinger) في عام (1920) وهو أول من وضع اللبنة الأساسية لعلم البوليمر وذلك بأقتراحه فرضية الجزيئات الكبيرة، واستمرت البحوث والدراسات على تلك المواد وخصوصاً خلال الحرب العالمية الثانية بشكل مكثف وسريع، إذ بدأت الدول تتنافس في إنتاج العديد من أنواع البوليمرات الصناعية والمتراكبات المحضرة منها [1]. إنَّ التطور السريع في تكنولوجيا البوليمرات يعود إلى الخصائص الميكانيكية والفيزيائية المميزة لها وبسبب إمكانية التحوير والتحكم بتلك الخصائص وكذلك الحاجة الماسة إلى بدائل لها خواص تكنولوجية مميزة أفضل من بعض المواد التقليدية، إذ دخلت في العديد من التطبيقات العملية وخصوصاً في التطبيقات الكهربائية مما جعل دراسة خواصها الكهربائية من أكثر المجالات الحيوية، إذ استعملت قابلية عزلها الكهربائي العالي في حماية التيارات الكهربائية في الموصلات من التسرب، وحماية المجالات العالية من الانهيار، ودخلت هذه المواد ضمن المواد شبه الموصلة والموصلة. كما استعملت البوليمرات في البصريات لصنع العدسات لأحدث الأجهزة البصرية، واستعملت في تغطية الصفائح المعدنية لتقليل من انعكاسية الضوء الساقط ومنع التآكل للمعادن. ونتيجة لهذا التطور الصناعي والتكنولوجي ظهرت الحاجة لإيجاد مواد بديلة ذات مواصفات عالية ونوعية عالية من حيث الكلفة وخفة الوزن والخصائص الأخرى بصورة عامة لاعتمادها في التطبيقات الصناعية المتعددة والمدنية والعسكرية ابتداءً من لعب الأطفال وصولاً إلى هياكل الطائرات والسفن وغيرها [1،2].

(2-1) البوليمرات

Polymers

إنَّ كلمة بوليمر (Polymer) لها أصل لاتيني تتكون من مقطعين وهما (Poly) وتعني متعدد وكلمة (Mer) وتعني الجزء أو الوحدة لذا فإن كلمة (Polymer) لغويًا تعني متعدد الوحدات، وعادة ما تعرف البوليمرات بأنها مركبات كيميائية عملاقة متكونة من وحدات بنائية بسيطة يطلق عليها اسم (Monomers) وتتكرر عدة مرات وترتبط الوحدات بعضها ببعض بأواصر كيميائية مكونة سلاسل جزيئية طويلة، وقد تكون ذات أشكال مختلفة (خطية أو متفرعة أو متشابكة) [3،4]. والشكل (1-1) يوضح الأنواع الثلاثة لتراكيب السلاسل البوليمرية [5].



الشكل (1-1): الانواع الثلاثة لتراكيب السلاسل البوليمرية [5].

كما تدعى عملية ربط وحدات المونمر مع بعضها البعض بعملية البلمرة. واستناداً إلى توصيات الاتحاد العالمي للكيمياء التطبيقية قسمت تفاعلات البلمرة إلى نوعين [6].

a- بلمرة الإضافة (بلمرة التفاعل المتسلسل) (Addition Polymerization): يتضمن هذا النوع من البلمرة إضافة الوحدات التركيبية (Monomers) إلى بعضها البعض بصورة متتالية وبدون نواتج عرضية.

b- بلمرة التكثيف (بلمرة التفاعل الخطوي) (Condensation Polymerization) يتضمن هذا النوع من البلمرة تفاعلات تكثيف متتالية بين المجاميع الوظيفية إذ تكون التفاعلات مصحوبة بنواتج ثانوية.

ومن الجدير بالذكر أنّ البوليمرات ذات درجة البلمرة الكبيرة يمكن أنّ تعرف بالبوليمرات ذات الوزن الجزيئي العالي، أما البوليمرات ذات درجة البلمرة القليلة فتعرف بالبوليمرات ذات الوزن الجزيئي الواطئ [7].

Classification of Polymers

(1-2 -1) تصنيف البوليمرات

تصنف البوليمرات بالاعتماد على خواصها التكنولوجية واستعمالاتها العملية الى الاصناف

الآتية:

Thermoplastic Polymers**a- البوليمرات المطاوعة للحرارة**

تعرف بأنها بوليمرات ذات سلاسل طويلة وبتفرعات صغيرة او قد تكون ذات سلاسل خطية، وترتبط السلاسل الطويلة ذات الجزيئات المتشابهة معاً بواسطة قوى ضعيفة ثانوية هي قوى فاندرفالز [8]. عند تسليط حرارة على هذا النوع تتحول الى منصهرات وعند اقتراب درجة الحرارة من درجة الانتقال الزجاجي تصبح مرنة، أما عند درجات الحرارة العالية فإن الاواصر الثانوية بين السلاسل تتكسر بسهولة اكبر وتكون المادة بشكل منصهر لزج وتعود الى حالتها الصلبة مرة اخرى عند التبريد وتستغل هذه الخاصية في عمليات تصنيع البلاستيك والالياف الصناعية وأن دورة التليين (Softening) بواسطة الحرارة والتصلب اثناء التبريد يمكن تكرارها بشكل غير محدد [9،10]. تتغير خصائص هذه البوليمرات عندما يتم تغير طول السلسلة المنفردة او تغير شكلها وذلك بوضع تفرعات من الجزيئات المتجمعة او المجاميع الجانبية عليها مما يؤدي الى تغير في متانة الاواصر ضمن السلاسل وكذلك تغير في متانة الاواصر ما بين السلاسل ومثال على هذه البوليمرات هو بولي اثلين (PE) وبولي بروبلين (PP) وبولي ستايرين (PS) وبولي كلوريد الفينيل (PVC).

وتمتاز البوليمرات المطاوعة للحرارة بالخصائص الآتية [11].

a- تكون ذات صلادة عالية.

b- ذات مقاومة عالية لاجهادات الكسر.

c- ذات قابلية للتمدد والاستطالة.

d- تكون عادة غير موحدة الخواص (Anisotropic) اي مختلفة اعتماداً على الظروف في اثناء

عملية الصب (Solidification).

Thermoset Polymers**b- البوليمرات المتصلدة حرارياً**

تعرف البوليمرات المتصلدة حرارياً بأنها راتنجات سائلة. اذ تظهر عليها العديد من التغيرات الكيميائية عند تسخينها فتنشأ فيها السلاسل البوليمرية وتصبح هذه البوليمرات بعد معاملتها الحرارية غير قابلة للانصهار وريئة التوصيل للحرارة والكهربائية وتتحول الى مواد صلبة اكثر هشاشة من البوليمرات المطاوعة للحرارة بواسطة التشابك الكيميائي (Crosslinking Chemical) الذي يؤدي الى تكوين شبكة مترابطة بقوة ثلاثية الابعاد من السلاسل البوليمرية [9،10]. ولا يمكن إعادة تشكيل هذه البوليمرات بعد عملية التفاعل الابتدائي إذ بزيادة درجة الحرارة سوف تنفحم (Chor) ويحدث

لها تحلل ومن أمثلتها راتنجات الايبوكسي وراتنجات البولي استر. وتتميز هذه المواد بالاتي [11].

- a- أنها ذات استقرار حراري عالي ويعود سبب ذلك الى ان الجزيئات ذات ربط تشابكي كثيف.
- b- تكون غير بلورية وذات درجة انتقال زجاجي عالي.
- c- تتميز بالجساءة (Stiffness) والقوة (Strength).
- d- تكون مقاومة جيدة للزحف.
- e- تمتاز بخصائص كهربائية عالية وعزل حراري عالي (خصائص عزلية عالية).
- f- انها لاتذوب في جميع المذيبات ولكنها تميل الى الانتفاخ في المذيبات القوية.

Elastomer polymer

c- البوليمرات المرنة مطاطيا

تتكون هذه البوليمرات من سلاسل جزيئية خطية مع وجود تشابك قليل في السلاسل، كما تمتلك هذه المواد معدلات انفعال عالية عندما يسلط عليها إجهاد وبامكانها استرجاع ابعادها الاصلية عند زوال الاجهاد المسلط عليها، إنَّ قابلية هذا النوع من البوليمرات لظهور صفات المرونة يعتمد على مرونة الجزيئات ذات السلاسل الطويلة الموجودة في وضعيات ملتفة على بعضها بصورة عشوائية ليكون معدل المسافة بين نهايتي جزيئة البوليمريكون اقل بكثير من المسافة عندما تكون الجزيئة في الوضعية الممتدة، ومثال عليها المطاط الطبيعي [9،10]. ومن اهم مايميزها [11].

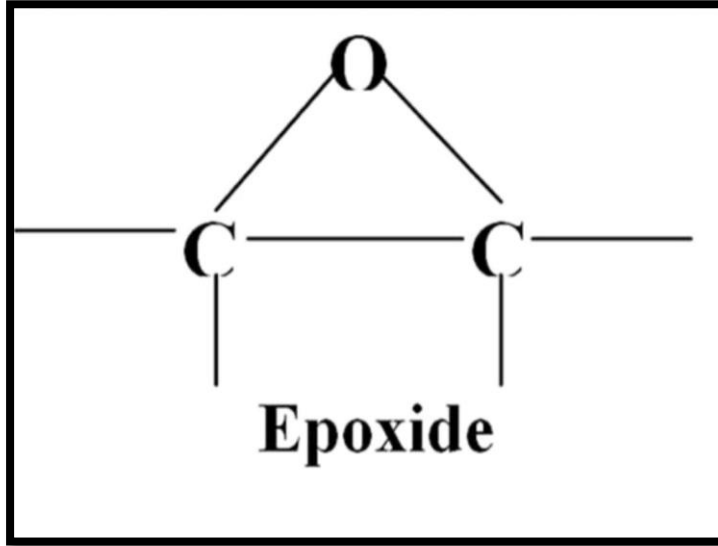
a- انها تملك درجة انتقال زجاجي (Tg) واطنة.

b- تكون جزيئات هذه المواد ذات التواء عال جداً

Epoxy Resins

(2-2-1) راتنجات الايبوكسي

الايبوكسي كلمة اغريقية تتكون من مقطعين (EP) وتعني بين و (oxy) وتعني اوكسجين وهي مادة بوليمرية متصلة حراريا يحتوي الايبوكسي على مجموعة واحدة او اكثر من مجموعة الايبوكسايد (Epoxyde) الذي يمثل الوحدة الاساس لراتنجات الايبوكسي وأبسط صيغة له هو الاوكسجيران (Oxirane) اذ يمثل مركبا حلقي يتكون من ذرة اوكسجين مرتبطة بذرتي كاربون مع بعضها كما موضح في الشكل (2-1).



شكل (2-1): الاوكسيران (Oxiran) [12]

من أهم خواص راتنجات الايبوكسي [12].

1- يمتلك مقاومة كيميائية جيدة.

2- امتلاكه مقاومة كهربائية والصلادة العالية مما يجعله مفضلا في صناعة الاغطية لحماية الحاويات المعدنية.

3- يمتلك خصائص تلاحقية فريدة بسبب التركيب الكيميائي لراتنج الايبوكسي وخاصة مجاميع البولي اثيرات التي تعد اساس راتنجات الايبوكسي.

4- تتفاعل راتنجات الايبوكسي مع المصلدات في اثناء المعالجة (Curing) ويكون هذا التفاعل غير مصحوب بانبعثات الماء او تحرر اي منتجات ثانوية مما يجعل التقلص في الحجم قليل ا و اقل من (2%) وبالتالي يكتسب الراتنج قوة وخصائص ميكانيكية عالية.

Nanomaterials

(3-1) المواد النانوية

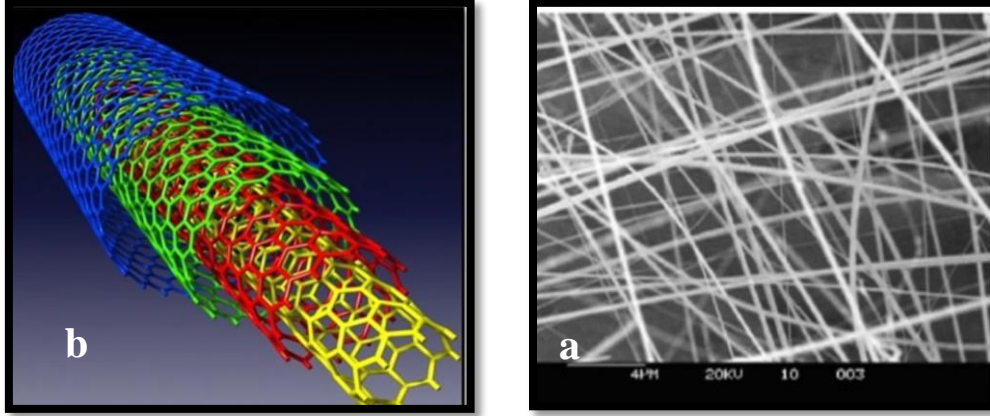
يمكن تعريف المواد النانوية على أنها المواد التي تتراوح مقاييس أحد أبعادها أو أبعاد حبيباتها الداخلية بين (1-100nm) وقد ادى صغر احجام تلك المواد الى أن تسلك سلوكا يختلف عن المواد التقليدية كبيرة الحجم التي تزيد ابعادها عن (1-100nm) إذ تتوفر فيها صفات وخصال شديدة التميز لايمكن أن تكون مجتمعة في المواد التقليدية والمواد النانوية هي مواد البناء الأساسية للقرن الحادي والعشرين والركن المهم في تكنولوجيا القرن الحادي والعشرين (تكنولوجيا النانو وتكنولوجيا المعلومات والاتصالات والتكنولوجيا الحيوية) التي تعد مقياسا لتقدم حضارة الامم وموشر لنهضتها

وتختلف المواد النانوية من ناحية المصدر اذ تختلف باختلاف نسبها كأن تكون مواد عضوية او غير عضوية او مواد طبيعية او مصنعة هذا وتعد جميع المواد الهندسية المعروفة مثل العناصر الفلزية وسبائكها وأشبه الموصلات والاكاسيد والمعادن مواد نانوية من مصادر طبيعية ومصنعة [13].

Classification of Nanomaterials (1-3-1) تصنيف المواد النانوية

One Dimension Nanomaterials (1-3-1-1) مواد نانوية أحادية الأبعاد

هي المواد التي تمتلك على الأقل بعد واحد في المقياس النانوي أي أن أحد أبعادها يقل عن (100nm) وسميت هذه المواد بالمواد النانوية أحادية الأبعاد ومن أنواعها اسلاك ذات اقطار صغيرة جدا اذ ان نسبة طولها الى عرضها تزيد عن (1000) مرة لذا فهي يمكن ان تكون ضمن المواد ذات البعد الواحد وكذلك الانابيب النانوية هي تجمع عدد كبير من الخواص الميكانيكية والكيميائية والفيزيائية غير المألوفة وكذلك خواص مميزة مثل القدرة على التوصيل الكهربائي الفائق والحراري أصبحت تدخل الاسلاك والانابيب النانوية في تصنيع مكونات الخلايا الشمسية والشرائح الالكترونية واجهزة الاستشعار عن بعد والاجهزة الالكترونية الدقيقة كما يظهر في الشكل (1-3) اسلاك الكربون النانوية وانابيب الكربون النانوية [14].



الشكل (1-3): الاسلاك النانوية (a) انابيب الكربون النانوية (b) [14,15].

Two dimension nanomaterials(2D) (2-1-3-1) المواد النانوية ثنائية الأبعاد

هي المواد التي تمتلك في المقياس النانوي وتعد الاغشية الرقيقة نموذج مهم لتلك الفئة من المواد ومثل المواد النانوية المستخدمة في طلاء الاسطح [15].

(3-1-3-1) المواد النانوية ثلاثية الابعاد

Three dimension nanomaterials (3D)

هي تلك المواد التي تمتلك ثلاث ابعاد في المقياس النانوي وتشمل مساحيق الفلزات والمواد السيراميكية فانقة النعومة وان هذا النوع من المواد النانوية سواء كانت على هيئة مساحيق او حبيبات تنصدر قائمة الانتاج العالمي من المواد النانوية ولذلك لتعدد استخداماتها في المجالات والتطبيقات التكنولوجية الحديثة [13].

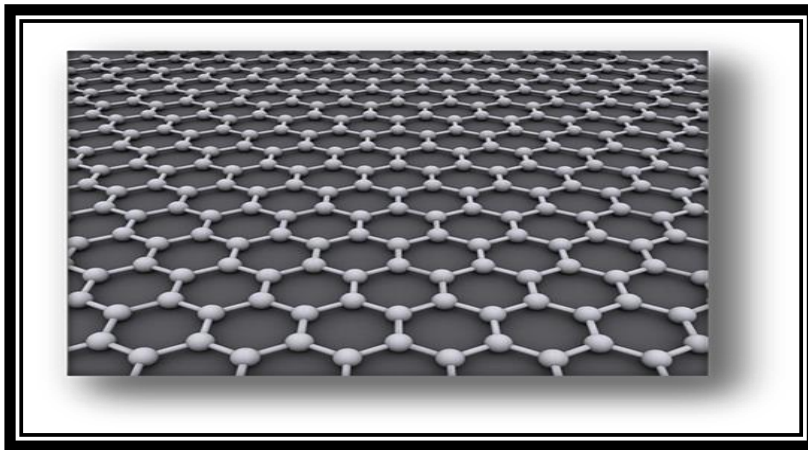
(4-1-3-1) المواد النانوية الصفرية الابعاد

Zero dimension nanomaterial (0D)

هي المواد التي تكون جميع ابعادها في مقياس النانو [15,16].

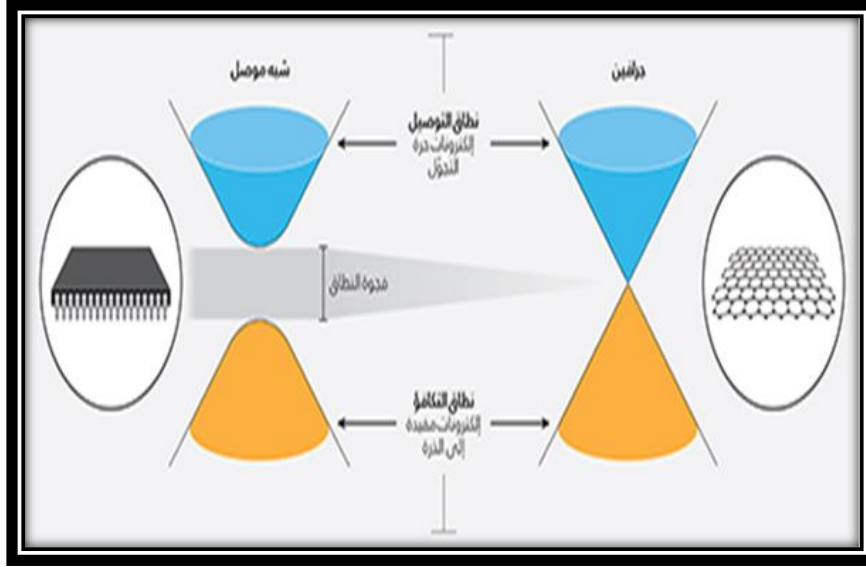
Graphene Nanoplatelets**(2-3-1) صفائح الكرافين النانوية**

الكرافين هو صفيحة رقيقة من ذرات الكربون المترابطة بسمك ذرة كربون واحدة وترتبط هذه الذرات مع بعضها البعض بروابط سداسية وهو الشكل المميز لخلايا النحل إنَّ هذا الشكل الفريد يجعل خلايا الكرافين ذات صلابة استثنائية مميزة وتمتلك سمكا صغيرا ومساحة سطحية عالية إنَّ الكرافين هو اقوى مادة مكتشفة على سطح الارض حتى الان يعد الكرافين اقوى اربع مرات من الماس واقوى 300 مرة من الفولاذ [17]. وبالإضافة الى صلابة الكرافين وقوته فانه يتمتع بخواص توصيلية حرارية وكهربائية وذلك لأنَّ الكرافين مادة ذات بعدين كما في الشكل (8-1) وعليه فإنَّ الاعاقة التي تتعرض لها الالكترونات اقل بكثير من تلك التي نجدها في المواد ذات الابعاد الثلاثية لذلك نجد الكرافين يمتلك توصيلية كهربائية وحرارية عالية جدا وباقل قدر من المقاومة كما انه موصل ممتاز للصوت [18].



شكل (4-1): صفائح الكرافين النانوية

في عام 2010 نال كل من (Andre Geim) و (Konstantin) (Novoselove) جائزة نوبل على تحضيرهما لهذه المادة إذ تمكن في نهاية عدد من التجارب من استخلاص رقائق من الكربون بسمك يعادل ذرة واحدة ومن خلال اكتشاف الكرافين ظهرت خصائص مميزة غير مالوفة إذ تبين أنه مادة موصلة ومثالية في مجال الصناعة كما ان مقاومته الميكانيكية تبشر بأن الكرافين هو مادة فائقة الصلابة [19].



شكل (1-5): فجوة الطاقة للكرافين حيث يدل على أنه مادة موصلة بالمقارنة مع مادة شبه موصلة [19].

Graphene Application

(1-2-3-1) تطبيقات الكرافين

إن من أهم استعمالات الكرافين، ما يأتي:

- 1- يمكن ان يستعمل في مجال الطاقة المتجددة مثل الخلايا الشمسية الدقيقة التي تحول أشعة الشمس والطاقة الحرارية الى تيار كهربائي .
- 2- يستعمل في الاتصالات وصناعة الهواتف النقالة المستقبلية و أجهزة التسجيل الصوتية والمعالجات الرقمية
- 3- يدخل في تصنيع الخلايا الكهربائية والمفاتيح الكهربائية الدقيقة جدا وشاشات اللمس.
- 4- يدخل في صناعة المركبات وصناعة الطائرات والسيارات والاقمار الصناعية.
- 5- يمكن ان يستعمل حديثا في سد الفراغات في المواد النانوية وتقانة النانو.

6- يستعمل في صنع مجسات الغاز والالكترونيات ذات المرونة العالية (الاجهزة القابلة للطي).

7- يمكن ان يستعمل الكرافين في تطوير بعض المواد البلاستيكية.

ويظهر أنَّ تطبيقات الكرافين سوف تمتد الى تقنيات اخرى كالاتصالات والتصوير والكشف الموجي والكشف عن الاسلحة والبايولوجيا للكشف عن متتاليات الحمض النووي وذلك لانه جميع هذه التطبيقات تحتاج الى سرعة فائقة في المعالجات [20,21].

Graphene Defects

(1-2-3-2) عيوب الكرافين

يتضح مما سبق أن للكرافين توصيلية كهربائية عالية جدا تتيح لها معالجة بيانات بمعدل عال جدا يتجاوز (400 GHz/sec) في حال تم استخدامها كرقائق نبائطية (Electronic Devices) ولكن افتقارها الى فجوة طاقة عملية يحول دون استعمالها في اجهزة المعالجات الرقمية (Logic) والتي اساس عملها (0,1)(Off,On) اي قطع التيار الكهربائي [22,23].

Silica nanoparticles

(1-3-3) دقائق السليكا النانوية

هي ثاني اوكسيد السليكون ويرمز لها بالرمز (SiO_2) تتميز بانها مادة بلورية صلبة القوام لونها ابيض وكثافتها عالية وتعدُّ من اكثر المركبات وفرة في الطبيعة وإحدى أهم المكونات الرئيسية للقشرة الارضية ولها عدة تسميات أخرى منها ثنائي اوكسيد السليكون (IV) واوكسيد السليكون والكوارتز سداسي التركيب البلوري توجد السليكا باشكال بلورية مختلفة ثلاثية الابعاد وهي مواد صعبة الانصهار مثل الكوارتز (Quartzite) وتريديمايت (Tridymite) والكريستوباليت (Cristobalite) كل منها يوجد بشكلين معدلين هما الشكل الفا الثابت في درجات الحرارة المنخفضة والشكل بيتا الثابت في درجات الحرارة المرتفعة بالاضافة الى ذلك توجد السليكا عديمة الشكل وهي شكل غير بلوري يحوي على (3-12) من الماء بالاضافة الى وجود سليكا حقيقية التبلور الشكل الغير بلوري للسليكا (Fused silica). تعد السليكا من العوازل الكهربائية الممتازة كما تشمل استخدامات واسعة حيث تدخل في صناعة الالياف البصرية (Optical fibers) كما تدخل في الصناعات الزجاجية والمواد الحرارية تؤدي اضافة السليكا الى تقليل الانكماش وتقليل اللدونة مما يؤدي الى خروج الغازات من دون أن يؤثر على الجسم السيراميكي وتتحد السليكا مع اكاسيد المعادن القاعدية ليكون الزجاج ويعتبر الكوارتز المطحون اكثر من الانواع الاخرى من مصادر السليكا. تضاف السليكا الى الـريزونات مثل ريزن الايبوكسي وهو أحد اقوى أنواع اللواصق المستخدمة في الطائرات مونها تزيد صلابته وتحسن خواص العزل الكهربائي له وتستعمل السليكا النانوية في عمليات التلميع الكيميائي الميكانيكي كونها تتمتع بقساوة عالية كما تستخدم في الطلاءات وفي مواد التجميل.

(4-1) الدراسات السابقة

Literatures review

درس الباحث (Kochetov) وجماعته في عام 2010 الخصائص الحرارية لمتراكبات الايبوكسي المدعم بدقائق السليكا النانوية باستخدام طريقة القولبة اليدوية وأظهرت النتائج تحسن في التوصيلية الحرارية بالمقارنة مع الايبوكسي النقي [24].

قام الباحث (Ahmad) وجماعته عام 2012 بدراسة تأثير اضافة دقائق السليكا النانوية على الخواص الفيزيائية والسلوك الميكانيكي والحراري والمجهري لراتنج الايبوكسي حيث اظهرت فحوصات (SEM) ظهور مناطق بيضاء ومكتفة على اسطح الكسر والتي تشير الى ان جزيئات السليكا النانوية لا تتشتت في الايبوكسي ولوحظ أن الخواص الفيزيائية للمتراكبات النانوية قد زادت كثافة متراكب الايبوكسي اما الخصائص الميكانيكية للمتراكبات النانوية قد بين انخفاض في قيم معامل يونك مع اضافة دقائق السليكا النانوية [25].

حضر الباحث (Xiaopengzeng) وجماعته عام 2012 المتراكب PMMA/Graphene بطريقة الخلط إذ تمت دراسة المتراكب (XRD, SEM, TGA) من خلال نتائج فحص (XRD) وظهرت قمة الكرافين عريضة عند (0.002) ولوحظ أيضا تباين في درجات الانتقال الزجاجي Tg باختلاف النسب الوزنية لرقائق الكرافين المضافة اما صورة SEM فأشارت الى وجود ترابط قوي بين المادة الاساس وصفائح الكرافين [26].

حضر (Mohammed A.Aldosari) وجماعته عام 2013 متراكب PMMA/Graphene بطريقة البلمرة حيث تمت دراسة المتراكب من خلال XRD, SEM, لوحظ ان XRD ظهور قمة حادة للكرافين عند المسافة البينية (d=7.1 Å) اما بالنسبة للمتراكب فان القمة سوف تزداد درجة او درجتين اما (SEM) فلوحظ ان الكرافين يتجمع على شكل كتل عشوائي اما المتراكب فكان بشكل كتل مكسد [27].

درس (Tangwu Jiang) وجماعته عام 2013 الخواص الميكانيكية المحسنة لجسيمات السليكا النانوية المرفقة لاوكسيد الكرافين لايبوكسي واطهرت الدراسة بفحص SEM الاسطح الخشنة التي تؤكد تأثير المحسن للخصائص الميكانيكية والشد للمركب [28].

درس الباحث (chengtang) وجماعته عام 2013 تأثير تشتت الكرافين على ميكانيكية المتراكب النانوي (الايوكسي-الكرافين) و تمت إضافة النسب الوزنية (0، 5، 10، 15، 20) من الكرافين الى راتنج الايبوكسي و درس الخواص الميكانيكية للمتراكب مثل معامل الانثناء وكسر

الصلابة وقوة الشد وأظهرت النتائج زيادة معامل المرونة مع زيادة نسب الكرافين وانخفاض قوة الانحناء مع زيادة النسب الوزنية للكرافين [29].

درس (Majeed) وجماعته عام 2014 تأثير اضافة الكربون النانوي على الخواص الميكانيكية للايبوكسي إذ أن وزن الكربون الاسود النانوي يتراوح ما بين (1, 2, 4, 6 wt%) مع الايبوكسي وكانت الخواص الميكانيكية مثل الشد الصلابة القوة الضاغطة وأظهرت النتائج زيادة في قوة الشد والاستطالة [30].

درس (Kim) وجماعته عام 2015 تأثير المعالجة السطحية للصفائح الكرافين النانوية لتحسين الخصائص الحرارية والكهربائية للايبوكسي. إذ تراوحت نسبة وزن الكرافين (3, 4, 5, 7, 10 wt%) مع راتنجات الايبوكسي واهضرت النتائج زيادة الموصلية والحرارية مع زيادة نسبة الكرافين وانخفاض في الخصائص الكهربائية مع زيادة نسبة الكرافين [31].

درس (Hilal) في عام 2016 تأثير اضافة جسيمات السليكا النانوية على بعض الخصائص الميكانيكية لمتراكبات الايبوكسي المدعم بنسبة من طبقات الزجاج المتكسر باستخدام طريقة القولبة اليدوية وأظهرت النتائج زيادة في تأثير الصدمة عند الكسر الحجمي (1%) من السليكا النانوية بينما تقل عند الكسر الحجمي (3%) من السليكا النانوية [32].

درس الباحث (Bozkurt) وجماعته عام 2017 تأثير اضافة دقائق السليكا النانوية بكسور حجمية (1.5, 2, 2.5, 3 %) لمتراكبات الايبوكسي باستخدام طريقة القولبة اليدوية حيث اجري لهذه المتراكبات فحص الصدمة باستخدام نوع (Charpy Impact test) وأظهرت النتائج تحسن في قيمة متانة الصدمة بعد التدعيم إذ كانت طاقة امتصاص الصدمة عند الكسر الحجمي (1.5%) لا على بالمقارنة مع بقية الكسور الحجمية [33].

درس (Mostapha) وجماعته عام 2018 تأثير الكرافين النانوي المضاف على السلوك الميكانيكي للمتراكبات النانوية وأجريت في هذه الدراسة اختبارات المسافة البادئة للمتراكبات النانوية البوليمرية القائمة على الكرافين لتحديد الخصائص الميكانيكية لعينات تتكون من مصفوفة الايبوكسي مع اضافة الكرافين وقد تمت اضافة المواد عند النسب الوزنية (0.5, 1, 1.5, 2, 2.5wt%) وتم حساب الخواص الميكانيكية لمتراكب نانوي وقد وجد تحسن في الخواص الميكانيكية عند اضافة المواد النانوية [34].

درس (Rocived) وجماعته عام 2019 استخدام راتنجات الايبوكسي كمواد طلاء ولكن الاستخدام العملي لطلاءات الايبوكسي في الصناعات بسبب الخواص الميكانيكية وتم استخدام كميات

محددة من السليكا النانوية والصفائح المعدنية الجرافينية، حيث درسوا الخصائص الميكانيكية للجرافين مثل المرونة وقوة الشد والصلابة وأظهرت النتائج زيادة معامل المرونة والصلابة مع زيادة النسبة الوزنية للكرافين [35].

درس الباحث (Yasser Rostamiyan) وجماعته عام 2020 سلوك الاهتزاز على اساس مركب نانوي مدعم بجسيمات السليكا النانوية وأجرى اختبار الانحناء ثلاثي النقط وأظهرت النتائج ان زيادة نسبة السليكا بنسبة (2wt%) تؤدي الى تحسين في الخواص الميكانيكية [36].

Aim of the work

(1-5) الهدف من البحث

تهدف الدراسة الحالية الى:

- 1-تحضير متراكبات هجينة من راتنج الايبوكسي المدعم بنوعين من مواد التدعيم (دقائق السليكا النانوية وصفائح الكرافين النانوية).
- 2-دراسة تأثير الكسر الحجمي ونوع مادة التدعيم على السلوك الميكانيكي في كل خاصية من الخواص الاتية (الانحناء والصدمة والصلادة) وعلى الخصائص الكهربائية العزلية والخصائص الحرارية المتمثلة (التوصيل الحراري ودرجة الانتقال الزجاجي) لمتراكبات الايبوكسي الهجينة النانوية.
- 3-إيجاد افضل مادة تدعيم لراتنج الايبوكسي تعطي افضل خصائص فيزيائية لمتراكب الايبوكسي الهجين النانوي ليتم استخدامه في مجالات صناعية واسعة مختلفة.



الفصل الثاني

الجزء النظري



Introduction

(1-2) المقدمة

يتم في هذا الفصل سيتم دراسة الجانب النظري اي المواد المتراكبة ومكوناتها والخصائص الميكانيكية المتمثلة باختبارات (الصلادة والصدمة والانثناء) وبعض الخصائص الفيزيائية للمواد المتراكبة المتمثلة بالتوصيلية الحرارية ودرجة الانتقال الزجاجي والتوصيلية الكهربائية المتناوبة والمجهر الالكتروني الماسح .

Composite materials

(2-2) المواد المتراكبة

هي الانظمة الناتجة من اشتراك مادتين او اكثر إذ أن كل مادة تمثل طورا منفصلاً في النظام والغرض منها هو الحصول على مواد جديدة ذات صفات مناسبة تجمع بين صفات المواد الاولية الداخلة في تحضير المادة المتراكبة وتتغلب على الخواص الغير مرغوب بها لتكون اكثر ملائمة في التطبيقات الصناعية ان المواد المتراكبة تتألف من [37].

1-المادة الاساس Matrix Material

2-مواد التقوية Reinforce Material

لذلك يمكن تعريف المادة المتراكبة بانها ربط بين مادتين او اكثر لتكوين مادة جديدة تمتاز بصفات افضل وتختلف عن مكوناتها الاصلية [38].

Composites Material Components

(3-2) مكونات المواد المتراكبة

Matrix Material

(1-3-2) المادة الاساس

تمثل المادة الاساس الطور المستمر في المواد المتراكبة إذ تعمل بوصفها قالباً يضم الاطوار الاخرى فهي تعمل على ربط مواد التدعيم وتماسكها معاً للحصول على نظام تركيبى متماسك يمكنه تحمل القوى الخارجية المؤثرة عليه وقد تقتصر وظيفة المادة الاساس على نقل الاجهادات وايصالها لمواد التدعيم، والمادة الاساس يمكن ان تكون مادة بوليمرية مثل الايبوكسي، سيراميكية مثل الزركونيا او معدنية مثل مسحوق الحديد ومن الوظائف الاخرى التي تقوم بها المادة الاساس محافظتها على مادة التدعيم من الاضرار الناتجة من الظروف الجوية كالأكسدة والتآكل والتغير في درجات الحرارة وتتميز المادة الاساس بانها مادة قليلة الكثافة ذات صلابة ومقاومة واطنة مقارنة بمواد التدعيم [38]. حيث يمكن ان تصنف المواد المتراكبة بالاعتماد على مادة الأساس الى :

a- المتراكبات المعدنية

Metallic Matrix Composites (MMC)

تعد المتراكبات المعدنية مواد متراكبة ذات أساس سبائكي أو معدني نقي وهذه المتراكبات تدعم مواد على هيئة (دقائق أو ألياف أو شعيرات) وذلك لأجل الحصول على مواد متراكبة ذات خصائص ميكانيكية عالية ملائمة للتطبيقات المختلفة. إذ تتميز المتراكبات المعدنية بوجود ترابط قوي بين المادة الأساس ومواد التدعيم، يضاف الى ذلك إمكانية حدوث عملية أنتشار فيما بينهما، ولهذا يتطلب وجود استقرارية فيزيائية وكيميائية (مادة الاساس ومواد التدعيم). إذ تمتاز المواد المتراكبة المعدنية بالكثافة العالية وتحمل حراري عالي وجساءة ومقاومة عاليتين ومعامل تمدد حراري واطى ومتانة عالية وموصلية حرارية عالية إضافة الى الاستقرارية بالأبعاد [39,40].

b- المتراكبات السيراميكية

Ceramic Matrix Composites (CMC)

المادة الأساس في هذا الصنف من المواد المتراكبة هي مادة سيراميكية عادة يتم التدعيم فيها باستخدام الحبيبات أو الألياف القصيرة أو ما يسمى (Whiskers) مثل الألياف المصنعة من كاربيد السيلكون ونتريد البورون. إذ تمتاز المتراكبات السيراميكية بأن لها القابلية على تحمل درجات حرارة عالية، الامر الذي جعلها بأن تستعمل في تطبيقات تتحمل درجات حرارة عالية جداً ولها القابلية على تحمل الاجهادات العالية يضاف الى ذلك المتانة العالية ومقاومة تأكسد عالية وذات معامل حراري قليل [39,40].

c- المتراكبات البوليمرية

Polymeric Matrix Composites (PMC)

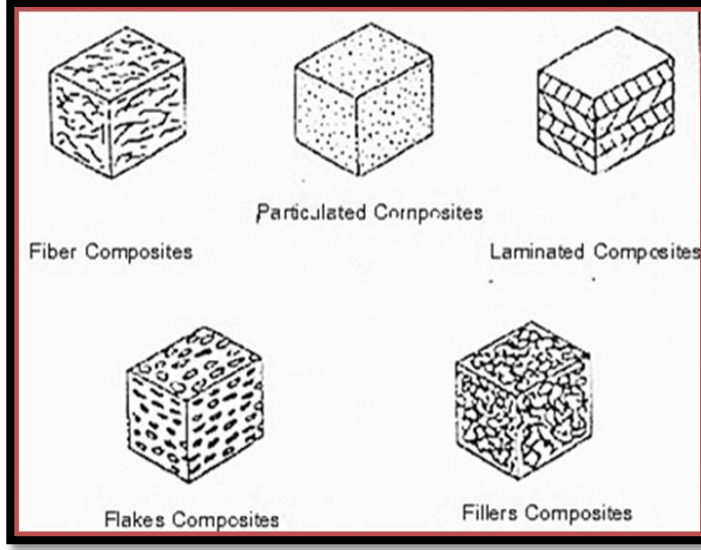
تعد المواد المتراكبة ذات الاساس البوليمري من اكثر المواد انتشاراً لما تمتاز به من خفة وزن ومتانة عالية، إذ استعملت البوليمرات في هذا النوع من المواد المتراكبة كمادة أساس والتي تدعم بمختلف الألياف الطبيعية والصناعية مثل ألياف الزجاج والكاربون والنايلون وغيرها، إذ تمتاز هذه المتراكبات مقارنة بالمواد البوليمرية الأخرى بإمكانية استعمالها في تطبيقات تكون درجات الحرارة غير عالية، وتتميز هذه المواد أيضاً بصلادة ومتانة واستقرارية ابعاد ودرجة حرارة تشوه اعلى مما هي في البوليمر [41,42].

Reinforcement Material

(2-3-2) مواد التدعيم

هي المواد التي تعمل على تقوية المادة الاساس وتمتاز بكونها ذات مقاومة عالية ومصلبتها مختلفة قد تكون عالية او واطئة اعتماد على نوع المادة وقد تكون اما بشكل الياف (Fibers) او دقائق (particals) او حشوات (Fillers) او قشور (Flakes) او على شكل شبكة من هذه المواد (التهجين مابين الانواع) لغرض انتاج مواد متراكبة ومواد التدعيم تختلف مصادرها فبعضها يأتي من المواد

الطبيعية المعدنية او المواد العضوية او المواد العضوية التركيب [43]. والشكل (1-2) يوضح الأنواع المختلفة لمواد التدعيم .



شكل (1-2): انواع مواد التدعيم [44،45].

إنّ تكنولوجيا النانو أضافت بعدا مهما جديدا في انتاج فئة حديثة تعرف باسم المتراكبات النانوية (Nanocomposite) وذلك من خلال تخليق حبيبات متناهية في الصغر تقل مقاييس ابعادها عن (100nm) بحيث يتم توظيفها كمواد نانوية داعمة ومقوية تعرف باسم الدعامات النانوية (Nano Reinforcement) لمادة الاساس وقد اثبتت تلك الجسيمات قدرة فائقة على تحسين خواص مادة الاساس ورفع مقاومتها وصلادتها.

Fibers Composite Material

a- المواد المتراكبة المدعمة بالألياف

يمكن تعريف الألياف بأنها شعيرات من مواد ذات خواص ميكانيكية عالية وبصورة عامة تكون دائرية المقطع بالرغم من أنها في بعض الأحيان تمتلك أشكالا أخرى ذات مقطع مربع أو مستطيل أو سداسي، وتستعمل الألياف لزيادة الخواص الميكانيكية، كما أن الألياف تمتلك متانة شد عالية (High Tensile Strength) ومعامل مرونة عالٍ (High Elastic Modulus) وكثافة منخفضة (Low Density) إن خواص المادة المتراكبة المدعمة بالألياف تعتمد على خواص الليف نفسه مثل قطر الليف وطوله والكسر الحجمي (Vf) وترتيب الليف، إذ أن الألياف قد تكون مستمرة (طويلة) أو مقطعة (قصيرة) وموزعة بشكل عشوائي أو موجهة باتجاه مُعين، وتتراوح أقطار الألياف بين (100µm) وتكون مستمرة أو مقطعة بطوال بين (3-50mm). أن نسبة الطول الى القطر في الألياف مهمة وتختلف هذه النسبة بحسب نوع المادة يضاف الى ذلك أن خواص المواد المتراكبة ذات الألياف القصيرة تعتمد بشكل مباشر على هذه النسبة إذ كلما كانت النسبة كبيرة كانت مقاومة المادة الكهربائية

والحرارية والميكانيكية ومتانتها عاليتين. ويمكن أن تكون مادة الليف سيراميكية مثل اليف الزجاج أو كاربيد السليكون أو الكاربون أو لدائنية مثل ألياف الكفلر أو فلزية تستعمل بهيئة أسلاك كأسلاك النحاس أو الفولاذ [44].

b- المواد المترابطة المدعمة بالصفائح Flake Reinforced Composites

المواد المترابطة المدعمة بالصفائح تمثل نوعاً من أنواع المواد المترابطة التي تستعمل في عدة تطبيقات والتي قد يستعاض بها عن الألياف فوضع الصفائح في المادة الأساس بطبقات متوازية (مستويات متوازية) تعطي خواصاً متشابهة في إتجاهين ضمن المستوي الواحد، وبما أن شكل الصفائح غالباً ما يكون مستويماً مما يسهل عملية تجميعها معاً بتراصف قريب من بعضها مما يعطي نسبة مئوية عالية من تقوية المادة لكل مساحة مقطع معينة، كذلك يمكن ان تجعل الصفائح المعدنية متماسكة مع بعضها البعض في مادة ذات أساس بوليمري لتحسين التوصيلية الحرارية والكهربائية، بينما قد تستعمل صفائح الزجاج أو المايكا لتقليل التوصيلية الحرارية والكهربائية، كذلك فان الصفائح ذات كلفة أنتاجية أقل من الألياف، والتداخل بين الصفائح في المادة المترابطة يعطي نوعاً من الحواجز لمرور السوائل أو الأبخرة التي تقلل من احتمالية الفشل الميكانيكي نتيجة التغلغل، وبالمقارنة مع التقوية بالألياف فإنَّ التقوية بالصفائح تعطي معامل مرونة نظري أعلى من معامل المرونة للمواد المقواة بالألياف [45,46]. من المميزات التي تؤخذ على التقوية بالصفائح، إنَّ المادة المقواة بالصفائح تعطي تقوية قليلة للجزء بالاتجاه العمودي على مستوي الصفائح، وكذلك صعوبة السيطرة على حجم وشكل ومقدار الشقوق في الصفائح أثناء أنتاجها فمثلاً صفائح الزجاج قد تحوي على شقوق أو حزوز حول حافتها التي تكون مراكز ضعف في المادة المترابطة عند التقوية بها [45]. هناك أنواع أخرى من الصفائح مثل صفائح الألمنيوم والنحاس و صفائح المايكا و صفائح الزجاج و صفائح الكرافيت. إنَّ خواص المواد المترابطة المدعمة بالصفائح تعتمد بشكل كبير على نسبة القطر المكافئ للصفائح الى سمكها، إذ تكون أكبر تقوية عندما تكون النسبة عالية، وكذلك تعتمد التقوية بشكل كبير على قوة التلاصق (Adhesion) بين الصفائح والمادة الأساس، هذان العاملان ضروريان لضمان أنتقال الأجهادات بين المكونات ومنع أو تقليل حدوث انسحاب الصفائح (Pull Out) أو انفصالها (Debonds). وهناك عدة أستعمالات تدخل فيها المواد المترابطة المقواة بالصفائح مثل أستعمال صفائح المايكا في الدوائر الالكترونية، وأستعمال صفائح الزجاج مع الأيوكسي لصنع زعانف الموازنة والمقدمة المخروطية للفذائف.

c- المواد المترابطة المدعمة بالتشتيت Dispersion Reinforced Composites

إنَّ هذا النوع من المواد المترابطة ينتج عن طريق تشتيت أو توزيع دقائق مستقرة وذات احجام صغيرة في المادة الأساس. إنَّ توزيع الدقائق المشتتة في المادة الأساس للمادة المترابطة يكون بشكل عشوائي لذلك تكون مقاومة المادة وخواصها الأخرى متشابهة عادة في جميع الاتجاهات. وأنَّ حجم الدقائق الذي يكون عادة ضمن المدى (0.01-1µ m) والموزعة في الوسط بتركيز حجمي بحدود (15%) تعمل على أعاقه حركة الأنخلاعات عند درجات الحرارة العالية، إذ توزع الدقائق بدقة في المادة الأساس وتعمل على زيادة حد المرونة لأنها تقلل من الاجهادات المسلطة على المادة الأساس ومن الامثلة على هذه الدقائق هو أكاسيد الفلزات مثل أكسيد الألمنيوم [46]. أن التقوية بهذه الطريقة تجعل المادة الأساس هي التي تعطي قوة ومقاومة للمادة المترابطة [47].

d- المواد المترابطة المدعمة بالدقائق Mintes Reinforced Composite

إنَّ هذه المواد تكون مشابهة الى المواد المترابطة بالتشتيت ولكن تختلف عنها في حجم الدقائق أو الجسيمات والكسور الحجمية التي تتراوح بين (20-40)%. إذ يتم تحسين الخصائص الميكانيكية في الراتنجات (Resins) اللزجة بأستعمال مواد دقائقية تسمى بالحشوات (Fillers) وتسبب هذه الحشوات جساءة الوسط وتحسين معامل التمدد الحراري وزيادة المقاومة الحرارية ومقاومة الزحف (Creep) والصدمة (Impact) وهي على أنواع وأشكال مختلفة قد تكون كروية أو قشرية أو أبرية أو خطية، ويعتمد تحسين خواص المواد المترابطة على خواص الحشوات نفسها مثل التأثير الحجمي والسطحي للحشوات وكذلك على طريقة ترتيبها في المادة الأساس [44,48]. ومن امثلة هذه المواد أستخدام دقائق الكربون لتقوية المطاط.

Hybrid composites

(4-2)المترابكات الهجينة

إنَّ مصطلح المواد المترابطة الهجينة يطلق على المواد المترابطة التي تتكون من نوعين أو اكثر من مواد التدعيم ضمن المادة الاساس. إنَّ مصطلح الهجين يطلق على المترابكات المتقدمة التي تتكون من مزيج متنوع من مواد التدعيم كأن تكون المادة الاساس مدعمة بالالياف والدقائق معاً وذلك للحصول على مادة جديدة ذات صفات جيدة مثل المقاومة او المتانة المتوازنة وانحاء متوازن. ان الغرض من استخدام نوعين أو اكثر من مواد التدعيم في المواد المترابطة الهجينة هو امكانية السيطرة على الكلفة الاقتصادية التي تعد عاملاً مهماً في الصناعات الكبيرة إنَّ استخدام المواد المترابطة الهجينة بدأ بصناعة السيارات والادوات الرياضية ثم تطور ليشمل صناعة اجزاء من الطائرات وذلك لامتلاكها خصائص مثالية [49]:-

1- مقاومة عالية الكلال (High Fatigue Resistance)

2- مقاومة الظروف البيئية (Weathering Resistance)

3- مقاومة كيميائية عالية (High Chemical Resistance)

4- مقاومة لدرجات الحرارة العالية (High Temperature Resistance)

ومن الممكن تصنيف المتراكبات الهجينة بالنسبة لتركيبها كالآتي :

1- الهجائن الشطائرية (Sandwich Hybrids): تعرف ايضا بهجائن (القشرة – اللب) التي تكون

فيها إحدى مادتي التدعيم محشورة بين طبقتين من مادة التدعيم الأخرى

2- الهجائن الطبقيّة أو الصفائحية: تتكون من نوعين مختلفين أو أكثر من طبقات المتراكبات ذات

الاتجاه الواحد مرصوفة بترتيب معين (ترصف فيها الطبقات بصورة متعاقبة).

3- الهجائن ضمن الطبقيّة: في هذا النوع من المواد الهجينة تخلط إحدى المواد مع مادة أخرى بطريقة

معينة أو بطريقة عشوائية.

4- الهجائن المخلوطة جيداً: تصنع هذه الهجائن بخلط الألياف جيداً لضمان عدم وجود تركيز لآحد

الألياف في منطقة معينة.

5- الأنواع الأخرى من الهجائن كذلك الأضلاع والحجابات الرقيقة أو التي تنتج عن مزج الأنواع

المذكورة آنفاً.

Mechanical Properties

(5-2) الخصائص الميكانيكية

أصبحت دراسة الخصائص الميكانيكية من الدراسات المهمة جداً والجديرة بالفحص والقياس

والمناقشة لما لها من أهمية بالغة في تجديد المدى الذي يمكن أن تعمل به المواد المترابطة ومدى

نجاحها أو فشلها إن اختيار المواد غالباً ما يكون على أساس ما تتمتع به المادة من خصائص ميكانيكية

التي تعني سلوك المواد الهندسية تحت تأثير القوى والأحمال وتحت مختلف الظروف. إن منافسة

المواد المترابطة للمواد الأخرى يعتمد على خصائصها الميكانيكية المرغوبة من حيث قوتها العالية

ومرونتها فضلاً عن سهولة تصنيعها ورخصها نسبياً، والخصائص الميكانيكية تميز المواد عند تسليط

قوة على المادة عادة تلقب بالسلوك المرن واللدن للمادة. تعتمد الاستعمالات العامة والهندسية

للبوليمرات إلى حد كبير على صفاتها الميكانيكية الجيدة وخاصة قوتها العالية نسبياً وقابليتها على

التشوه بتأثير الأجهادات العالية وإن هذه الأزدواجية في صفات البوليمر تنشأ من طبيعة تركيبه إذ أن

وجود نوعين من القوى (الواصر الكيميائية) بين الجزيئات هي التي تؤثر بصورة او باخرى على صفاتها الميكانيكية [50,51].

Hardness test

(1-5-2) اختبار الصلادة

تعد الصلادة من الخصائص الميكانيكية السطحية المهمة التي يمكن تعريفها بانها مقاومة المادة للغزواو النقر (Indentation) في المناطق السطحية منها وان قيمة الصلادة تعطي دليلاً للمقاومة (Index of strength) وتماسك التركيب (Structure coherence) وترتبط الصلادة مع المقاومة الميكانيكية للمادة حيث تكون في اغلب الاحيان المادة ذات صلادة واطنة تكون مقاومة الخضوع واطنة [52]. ولكنها في نفس الوقت تعطي فكرة جيدة جداً ونسبية عن متانة وتماسك كتلة المادة ايضاً باستعمال احمال صغيرة وهو اختبار غير اتلافي لعدم اتلافه العينة اذ عند الاختبار لا تنكسر العينة ولا تتشوه بشكل كبير اذ يظهر التشوه بشكل ثقب صغير على سطح العينة وهناك طرق عديدة لاختبار صلادة المادة والتي تستدرج بعضاً منها كما هو موضح في الجدول (1-2) [53].

جدول (1-2): طرق اختبار الصلادة [53].

نوع الصلادة	نوع اداة التغلغل
صلادة برينل Brinell Hardness	كرة كاربيدية او فولاذية
صلادة فيكرز Vickers Hardness	هرم ماسي
صلادة روكل Rocriwell Hardness	مخروط ماسي
صلادة شور (A, D)	إبرة
صلادة شور سكليرسكوب Shore scleroscope Hardnes	سقوط كرة لحظي

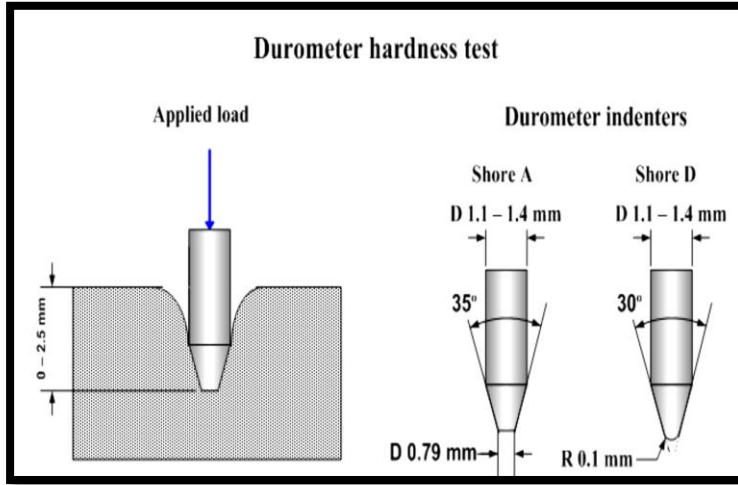
تم في هذه الدراسة استخدام صلادة شور وذلك لان صلادة شور تقنية متقدمة ومتطورة لقياس صلادة المواد البوليمرية وهناك نوعان من صلادة شور

1- صلادة شور A.

2- صلادة شور D.

صلادة شور (Shore A Hardness) تستعمل لقياس صلادة البلاستيك الهش (Softer) والنوع الاخر صلادة (Shore D Hardness) تستعمل لقياس صلادة البلاستيك الصلب (Harder) وان من اسباب الافضلية لاختبار صلادة شور هو سهولة الاختبار ورخص الاجهزة المستعملة نوعاً ما ولا تحتاج الى تحضير عينة خاصة [54,55]. ويتم اختبار الصلادة بسهولة وبسرعة من دون ان ينتج

عنه تحطم المادة المراد اختبارها ولذا فقد لقي اختبار الصلادة انتشارا واسعا في المجال الصناعي والشكل (2-2) يوضح مخطط اختبار صلادة شور D [53].



شكل (2-2) مخطط اختبار صلادة التحمل لشور [54].

Impact test

(2-5-2) اختبار الصدمة

يعدّ اختبار الصدمة من الطرق التي تعطي علاقة واضحة عن قوة المادة ومقاومتها للكسر تحت تأثير اجهادات بسرّع عالية ويعرف الكسر على أنه انفصال الجسم الى قسمين او عدة اقسام بسبب تاثير قوة طبيعية خارجية ويتولد عن الانفصال سطوح جديدة. ان عملية كسر المادة بصورة عامة امر غير مرغوب فيه ولاسباب التقنية التي تحول دون اجراء اختبارات الكسره في ما ياتي الظروف المعطاة ومقارنة خصائص الكسر لمادة معينة ضد معيار محدد وتأثير الظروف المحيطة في متانة المادة وعلى دراسة تاثير التغيرات التركيبية المايكروية (Micro structure) في متانة المادة. يبدأ الكسر في اختبار الصدمة عادة بتكوين الشق (Crack Initiation) ثم يبدأ بامتداد الشق (Crack propagate) [55].

تكون الكسور على نوعين هي الكسور الهشة والكسور المطيلية اذ تُعدّ الكسور الهشة من الكسور الخطرة وتحدث بصورة مفاجئة دون المرور بالتشوه اللدن اما الكسور المطيلية فتكون اقل خطورة لانها تحصل بصورة بطيئة ويمكن ملاحظتها. تعتمد درجة الكسر الهش او المطيلي بالدرجة الاساس على القيم النسبية لقوة القص وقوة التماسك للمادة فاذا كانت قوة القص اكثر من التماسك عندئذ تنهار المادة بطريقة هشة ولكن اذا كانت قوة القص اقل من قوة التماسك تصبح المادة مطيلية وتشوه بصورة لدنة وتبدي المواد المتصلدة حرارياً كسراً هشاً بينما تبدي المواد المطاوعة للحرارة كسراً مطيلياً. ويعتمد الفشل الذي يحدث في المادة على عدة عوامل وتشمل الاتي [56]. طبيعة المادة وتركيبها.

1- نوع الاجهاد (Type of stressing).

2- معدل الاجهاد (The rate stressing).

3- درجة الحرارة (Temperature).

4- الوسط (Environment).

وهناك عدة اختبارات قياسية للصدمة المطبقة في الوقت الحاضر وهي:

1. اختبار جاريبي (Charpy Test): في هذا الاختبار يتم وضع العينة افقياً وتضرب في وسطها بالمطرقة من خلف العينة بوزن معين.

2. اختبار ايزود (Izod Test): في هذا الاختبار يتم وضع العينة عمودياً في جهة معينة وتضرب العينة في نفس الجهة.

3. اختبار قياس الصدمة بطريقة الاجسام الساقطة (Falling Body Impact Test): هو اختبار لقياس الطاقة المطلوبة للكسر باستعمال اثقال مختلفة وبتأثير التعجيل الارضي (السقوط الحر) [57,58].

كل من اختبائي (Izod, Charpy) يتضمن السماح لبندول ذي وزن معلوم بالسقوط من ارتفاع (h) ليصطدم بعينة الاختبار القياسية في اوطاً نقطة من تارجه ليقاس بعدها الارتفاع (h) وهو الارتفاع الذي يصله البندول بعد اصطدامه بعينة الاختبار والذي تمثل قياس لطاقة الكسر فاذا كانت هذه الطاقة كبيرة يكون مقدار الفقدان كبيراً وبهذا يصبح الارتفاع (h) الذي يصله البندول بعد اصطدامه بعينة الاختبار قليلاً في الوقت نفسه يسجل المؤشر على الطاقة اللازمة للكسر لتقسم على مساحة المقطع فيتم الحصول على قيمة متانة الكسر.

إنَّ أهم مساوئ اختبار الصدمة بالبندول تكمن في أنَّ طاقة السقوط الزائدة عن الطاقة اللازمة للكسر تخزن في عينة الاختبار نفسها وبهذا فقد تحصل على قيمة عالية للطاقة المقاسة. وبما أنَّ عينة اختبار جاريبي لاتحتاج للتثبيت في موضعها (كما هو الحال في عينة اختبار ايزود) فإنها تستعمل بسهولة للاختبار عند درجات حرارة مختلفة وتبعاً لذلك حل اختبار جاريبي حالياً بشكل كبير محل اختبار ايزود [58].

تحسب متانة الصدمة من العلاقة الاتية [59].

$$L.S = U/A \text{-----}(1-2)$$

اذ ان

L.S: متانة الصدمة وتقاس بوحدات (Kg/m²).

A: مساحة المقطع تقاس بوحدات (m²).

E: طاقة الكسر تقاس بوحدات (K J).

اما فيما يخص اختبار الصدمة بالوزن الساقط فيتم اجراءه باسقاط صدم (Impactor) بحرية من ارتفاع معلوم [63,64]. ويمكن حساب طاقة الكسر (E) في هذه الحالة من العلاقة الاتية [59].

$$E = mgh \text{-----}(2-2)$$

m: كتلة الثقل بوحدات (Kg).

g: التعجيل الارضي (9.806 m/sec²).

h: مسافة السقوط بوحدات (m).

Bending Test

(3-5-2) اختبار الانحناء

يعد اختبار الانحناء من الاختبارات الاساسية للمواد المترابكة وذلك لغرض لتحديد خواص المرونة واللدونة اذ ان مقاومة المادة هي القابلية تحمل المادة قوى الثني المسلطة بصورة عمودية على المحور الطولي لها [12]. ويُعدُّ من الاختبارات المعقدة وذلك لكونه يتضمن اكثر من نوع من الاجهادات مثل اجهاد الشد في طبقات المقطع السفلي واجهادات الانطغاط في طبقات المقطع العلوي واحياناً تتغلب احدهما على الاخرى وتسبب فشل المادة كلها [60]. وأنَّ هناك بعض العوامل المؤثرة على هذا الاختبار وهي نوع ومعدل التحميل والمسافة بين المسندين وكذلك ابعاد المقطع العرضي للنموذج وكما مبين في الشكل (3-2) [61]. إنَّ أعظم اجهاد في ظروف فحص الثني ثلاثي النقاط والحاصل في منتصف المسافة بين المساند يمكن ان يحسب لاي نقطة واقعة على منحنى (الحمل – الانحناء) بواسطة العلاقة الاتية [62].

$$\sigma_{max} = \frac{3FS}{2bd^2} \text{-----(3-2)}$$

اذ ان

σ_{max} : اجهاد الثني ووحده (N/m²).

F: القوة ووحده (N).

S: المسافة بين المسندين ووحدها (mm).

b: العرض للعينة (mm).

d: السمك للعينة (mm).

وان اعظم انحناء ثني حاصل في منتصف المسافة بين المساند يمكن ان يحسب كما ياتي:

$$\varepsilon_{max} = \sigma d/s^2 \cdot D_{max} \text{-----(4-2)}$$

اذ ان:

D: الإنحناء بوحده (mm).

ε_{max} : اعظم انفعال ثني.

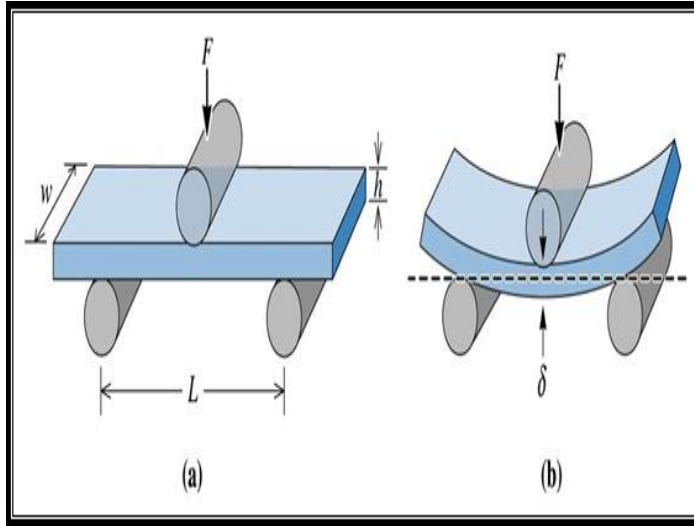
إنَّ الانحراف (Deflection) يتناسب طردياً مع الحمل المسلط (الكتلة mass) فعند زوال تأثير الحمل المسلط تسترجع المادة حالتها الأولى وينتج من ذلك إنَّ المادة تخضع لقانون هوك (Hook's Law) وان النسبة بين (mass/Deflection) مقدار ثابت يمثل الميل (Slope) وكما مبين في الشكل (6-2) ومن خلال هذا الاختبار يتم حساب معامل المرونة لجميع النماذج المهيأة للغرض الذي يقيس قساوة المادة فعندما يكون معامل المرونة عالياً فإنه ينتج انفعالا مرنا ويتم قياس (E_B) للنماذج باستعمال المعادلة (٥-٢)

$$E_B = \frac{L^3 m}{4bd^3} \text{-----(5-2)}$$

اذ ان:

E_B : معامل المرونة في الإنثناء (معامل الثني).

m: ميل الجزء الخطي من منحنى (الحمل – الانحراف).



الشكل (3-2): عينة اختبار الانحناء ثلاثي النقط [68].

Thermal properties

(6-2) الخصائص الحرارية

ظهر استخدام المواد المتراكبة ذات الوسط البوليمري في الكثير من التطبيقات الحديثة وذلك لما تتمتع به من خصائص حرارية تتميز بها عن الكثير من المواد الأخرى ودراسة مدى تحملها لدرجات الحرارة إذ أن هناك عدة تطبيقات ظهرت فيها الحاجة إلى مواد ذات قابلية عالية في تحمل درجات حرارية مرتفعة التي قد تتعرض لها المادة خلال الاستخدام إذ يمكن استعمالها بوصفها واقبات حرارية ومدى تحملها للجهدات حرارية [63]. لذلك نجد أن الهدف الأساسي من دراسة الخصائص الحرارية هو التعرف على السلوك الحراري للمواد المتراكبة لكي يحدد لها أدوار مناسبة في المجالات العلمية.

Glass-Transition Temperature (Tg)

(1-6-2) درجة الانتقال الزجاجي

إن من خصائص الحالة الزجاجية في البوليمرات هو تغير خصائصها الميكانيكية والفيزيائية عند درجة حرارة معينة وتعرف بدرجة الانتقال الزجاجي حيث يرمز لها (Tg) حيث يمكن تعريفها على أنها الدرجة الحرارية التي يتحول عندها البوليمر من مادة صلبة إلى مادة مرنة وفوق درجة الانتقال الزجاجي حيث يكون البوليمر مرناً [64]. حيث تمتلك اللدائن مجموعة من التحولات (Transitions) المختلفة تحت تأثير ارتفاع درجات الحرارة، فعند درجة الحرارة الأقل من درجة الانتقال الزجاجي (Tg) تكون المادة اللدائنية على شكل مادة صلبة قوية.

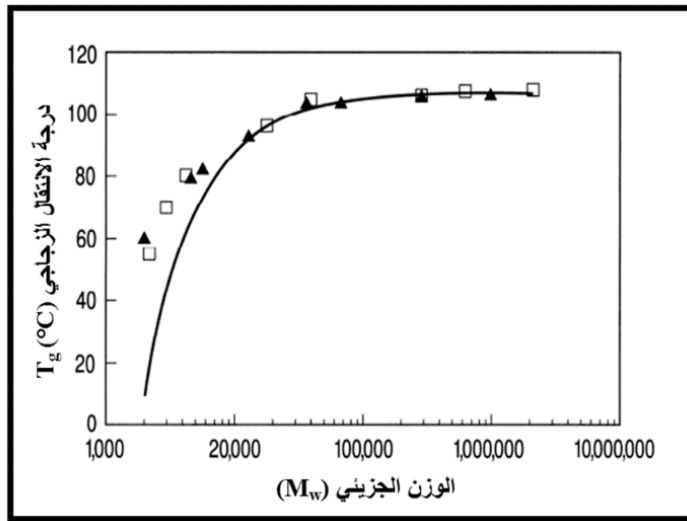
تتحول عند الانتقال إلى مادة لدائنية لينة ومرنة ومن ثم تتحول إلى الحالة المطاطية في حالة اللدائن الغير المطاوعة للحرارة [64,65]. تعتمد درجة الانتقال الزجاجي على حركة جميع الذرات والجزيئات في المادة اللدائنية وبالتالي فكلما تعقد الربط وازدادت قوة الأواصر وزاد الوزن الجزيئي

امتلكت المادة اللدائنية درجة انتقال زجاجي (Tg) اعلى كما في الشكل (2-4) حيث ستحتاج الى طاقة اعلى لتحريك المجاميع الجزيئية [66]. حيث ترتبط درجة الانتقال الزجاجي للبوليمر مع معدل الوزن الجزيئي له بالمعادلة الاتية [67].

$$T_g = 373 - 1 \times 10^5 / \bar{M}_w \quad \text{-----(7-2)}$$

اذ ان:

\bar{M}_w : معامل الوزن الجزيئي.



الشكل (2-4): العلاقة بين درجة حرارة التحول الزجاجي والوزن الجزيئي للبوليمر [68].

Thermal conductivity

(2-6-2) التوصيلية الحرارية

تنتقل الحرارة عبر المواد بطرق مختلفة اعتماداً على الحالة التي تتعامل معها، ففي المواد الصلبة التي تتكون من ذرات في ترتيب دوري منتظم يدعى بالشبيكة (Lattice) فإن انتقال الحرارة ينتج عن تأثيرين هما هجرة الالكترونات الحرة والموجات الاهتزازية للشبيكة وهذا يدل على ان التوصيلية الحرارية هي مجموع المركبة الالكترونية والمركبة الشبيكية حيث ان في المواد الموصلة للحرارة (المعادن) تكون المركبة الالكترونية اعلى بكثير من المركبة الشبيكية اما بالنسبة للمواد العازلة والتي تنتمي اليها البوليمرات فيمكن تحديد التوصيلية الحرارية بواسطة الموجات المرنة (Elastic wave) الناتجة من تذبذب الجزيئات حيث تنتقل الذبذبة من الجزيئية الى الجزيئات المجاورة لها نتيجة ارتباط بعضها مع بعض باواصر وبذلك تنتقل الذبذبة من الطرف الساخن الى الطرف البارد على شكل موجات مرنة مكممة تسمى بالفونونات (phonons) [69].

اما في المواد المترابكة فان الحرارة تنتقل بواسطة الطرق الثلاث للانتقال الحراري والتي هي (التوصيل والحمل والإشعاع)، حيث ان كل واحدة من هذه الطرق تشارك في عملية نقل الحرارة إذ تكمل احداها الأخرى للحفاظ على المسار المستمر لانتقال الفيض الحراري، حيث يأخذ الفيض الحراري مسارا متعرجاً بسبب مروره في أطوار مختلفة (مادة الأساس ومواد التدعيم) [70]. وأنّ السطح البيني بين المادة الأساس ومادة التدعيم يعمل على إعاقة حركة مرور الموجات المرنة وان انتقال الحرارة على شكل موجة مرنة تكون عملية صعبة ومعقدة بسبب وجود انقطاع في البنية والتحول من بنية الى أخرى، أي ان الموجة تفقد جزء من طاقتها عند السطوح البينية مابين المادة الأساس ومادة التدعيم وجزء آخر يضيع اثناء انتقال الموجة من مادة الى أخرى مختلفة عن المادة الأولى. وإنّ عملية التوصيل الحراري هي الظاهرة التي بوساطتها تنتقل الحرارة في المادة من المنطقة ذات درجة الحرارة العالية الى المنطقة ذات درجة الحرارة الواطئة حيث ان كمية الحرارة المنتقلة يمكن التعبير عنها بوساطة قانون فوريير [69].

$$Q = -KdT/dx \text{ -----(8-2)}$$

حيث ان:

Q: كمية الحرارة المنتقلة عبر وحدة مساحة مقطع المادة في وحدة زمن (J/s).

K: التوصيلية الحرارية بوحدات (W/m. K).

dT/dx: النسبة بين انتقال الحرارة ووحدة المسافة.

اذن بصورة عامة تختلف طرق قياس التوصيلية الحرارية (K) باختلاف المادة سواء كانت موصلة أو عازلة وكما يأتي:

1- يمكن قياس التوصيلية الحرارية لمادة جيدة التوصيل الحراري مثل النحاس وذلك باستخدام طريقة سيرل (Searle's Method) حيث إن مبدأ القياس هو تطبيق لقانون فوريير.

2- يمكن قياس التوصيلية الحرارية لمادة رديئة التوصيل الحراري على هيئة قرص مثل المواد ذات الأساس البوليمري باستعمال قرص لي (Lee's Disc Method) كما في الشكل (2-5) وفيها يوضع النموذج (S) بين قرصين من النحاس (A, B) ويمس القرص (B) المسخن الكهربائي (H) ثم يليه القرص (C) وبالاتتماد على حساب كمية الحرارة المارة خلال كل عينة من المادة والمتمثلة بالقرص (S)، إذ يتم حساب قيمة (k) من المعادلة الآتية [71].

$$K\{(TB-TA) / ds\} = e[TA+ r/2 (dA + ds/4) TA + ds TB/2r] \text{ -----(9-2)}$$

حيث إن e: تمثل الطاقة الحرارية المارة عبر وحدة مساحة مادة القرص لكل ثانية (W/m².K) وتحسب من المعادلة الآتية:

$$IV = \pi r^2 e(TA+TB) + 2\pi re [dA TA+ ds/2 (TA+TB +dB TB +dC TC) \text{ --- (10-2)}$$

حيث إن:

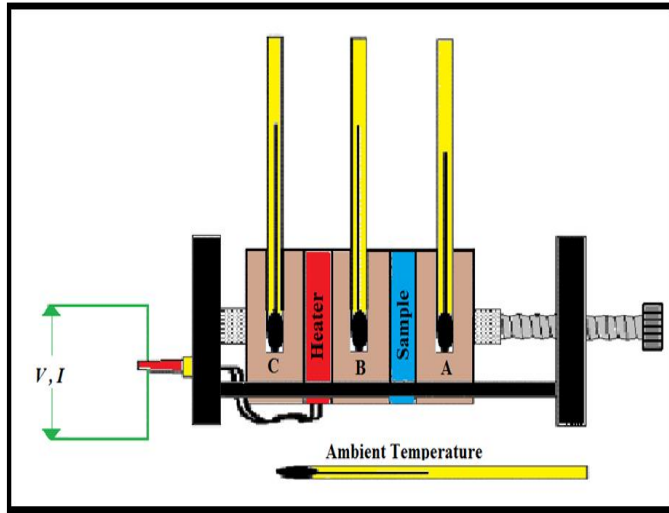
TA, TB, TC: تمثل درجة حرارة القرص (A, B and C) على التوالي.

d: يمثل سمك القرص بوحدات (m).

r: يمثل نصف قطر القرص بوحدات (m).

I: يمثل التيار المار في الملف المسخن بوحدات (Ampere).

V: يمثل فرق الجهد على طرفي ملف المسخن بوحدات (Volt).



شكل (5-2): مخطط لجهاز قياس التوصيلية الحرارية (قرص لي) [72].

Dielectric Properties

(7-2) الخواص الكهربائية العزلية

إن ثابت العزل الكهربائي للبوليمرات له أهمية كبيرة وازدادت أهميته عندما استخدمت البوليمرات بوصفها مادة عازلة لما لها من أهمية في العديد من التطبيقات الهندسية ويقاس ثابت العزل الكهربائي من سعة المكثف الكهربائي والذي يتضمن المادة البوليمرية وسطاً عازلاً إلى سعة المكثف الكهربائي الذي يتضمن الهواء فقط وسطاً عازلاً [73,74]. وتعتمد التوصيلية الكهربائية بصورة عامة على وجود الأيونات أو الإلكترونات الحرة وحركتها وتكون هذه الإلكترونات والأيونات في المواد العازلة مقيدة بسبب الارتباط القوي بين الذرات والذي يكون نتيجة أواصر تساهمية قوية أي بمعنى آخر أن الإلكترونات تكون متمركزة في الذرات ولا تكون حرة الحركة [73]. وبسبب هذا الارتباط

القوي للالكترونات في المواد العازلة والتي تنتمي اليها البوليمرات سوف يؤدي الى وجود فجوة طاقة عالية مما يجعل التوصيلية الكهربائية واطئة وتختلف التوصيلية الكهربائية من بوليمر الى آخر.

فعند تسليط فولتية على لوحين موصلين مفصولين عن بعضهما البعض بواسطة الفراغ سوف يتوقع عدم مرور تيار كهربائي ولكن بدلا عن ذلك فالشحنة الكهربائية الناتجة بواسطة الفولتية سوف تبقى مخزونة في الدائرة الكهربائية وان قيمة هذه الشحنة المخزونة بين اللوحين الموصلين تسمى السعة (Capacitance) ويرمز لها (C) وتتناسب مع الفولتية بواسطة العلاقة الآتية [75].

$$q = \hat{C} V \text{ ----- (11-2)}$$

حيث ان:

q: تمثل الشحنة الكهربائية المخزونة وتقاس بوحدات (Coulomb).

V: تمثل الفولتية المارة بين اللوحين الموصلين وتقاس بوحدات (Volt).

\hat{C} : تمثل السعة وتقاس بوحدات (Coulomb/Volt) أو بوحدات (Farad).

إذ أن السعة تعتمد على المادة الموجودة بين اللوحين الموصلين والحجم والشكل الهندسي وكذلك المسافة المسافة الفاصلة بينهما فعندما يكون الفاصل فراغ فالسعة تعطى بالعلاقة الآتية:

$$C_0 = \epsilon_0 (A/d) \text{ ----- (12-2)}$$

إذ ان:

ϵ_0 : تمثل سماحية الفراغ وتساوي (8.85×10^{-12}) وتقاس بوحدات (Farad/m).

d: تمثل المسافة الفاصلة بين اللوحين الموصلين وتقاس بوحدات (m).

A: تمثل المساحة السطحية للوح الموصل وتقاس بوحدات (m^2).

C_0 : تمثل السعة بوجود الفراغ وتقاس بوحدات (Farad).

عندما يكون السطح الفاصل بين اللوحين الموصلين مادة عازلة ينتج استقطاب في العازل ويسمح بشحنة اضافية ان تخزن وبذلك تزداد السعة حسب العلاقة الآتية:

$$\hat{C} = \epsilon (A/d) \text{ ----- (13-2)}$$

إذ ان:

ϵ : تمثل سماحية المادة العازلة تقاس بوحدات (Farad/m).

\hat{C} : تمثل السعة بوجود مادة عازلة وتقاس بوحدات (Farad).

ولكي توصف قابلية المادة للاستقطاب وخرن الشحنة الكهربائية تعطى بواسطة السماحية النسبية او ثابت العزل ويمكن تعريفها على انها النسبة بين سماحية المادة العازلة الى سماحية الفراغ [84].

$$\frac{\hat{C}}{C_0} = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} = \epsilon_r \text{----- (14-2)}$$

و أنَّ سعة المتسعة (Ĉ) المقاسة تستخدم لحساب ثابت العزل (ε_r') وذلك باستخدام العلاقة الآتية:

$$\epsilon = \hat{C} d / \epsilon_0 A \text{----- (15-2)}$$

وان الفقد العزلي (Dielectric loss) (ε_r') يعطى بالعلاقة الآتية:

$$\epsilon_r'' = \tan \delta * \epsilon_r \text{----- (16-2)}$$

إذ أنَّ:

tan δ: يمثل عامل الفقد (Dissipation factor).

يتضح مما تقدم أنَّ ثابت العزل الكهربائي (ε_r) هو كمية غير حقيقة لكنه كمية عقدية تمتلك جزء حقيقي يمثل (ε_r') وهو مقياس السعة والاستقطاب وجزء خالي (ε_r') وهو مقياس الفقد في العوازل. حيث ان التوصيلية الكهربائية الكهربية المتناوبة (σ_{a.c}) يمكن ان تحسب باستخدام العلاقة الآتية:

$$\sigma_{a.c} = \omega \epsilon_0 \epsilon_r'' \text{----- (17-2)}$$

ويمكن ان نحصل من العلاقة (17-2) على علاقة تربط بين التوصيلية الكهربية المتناوبة (σ_{a.c}) وفقدان العازل (ε_r') والتردد الزاوي (ω = 2π f) [76]. ومما يجدر أن نوضح هنا أمرا مهما قد يغفله الكثيرون هو أن التوصيلية الكهربية المبينة بالعلاقة (17-2) لاتمثل التوصيلية الكهربية في المعادن وأشباه الموصلات بل تمثل التوصيلية الكهربية المتناوبة التي هي مقياس للقدره المفقودة عند تسليط مجال كهربائي متناوب عبر العازل وليست هي مقياس لكمية الشحنات الكهربية التي يمكن ان تنتقل خلال المادة من قطب إلى آخر. إذن التوصيلية الكهربية المتناوبة (σ_{a.c}) في العازل هي مقياس للحرارة التي تتولد نتيجة دوران ثنائيات الأقطاب في مواضعها، أو اهتزاز الشحنات الكهربية بتغير اتجاه المجال الكهربائي المتناوب، ولذلك نجد أن التوصيلية الكهربية المتناوبة في العلاقة (17-2) تعتمد على التردد، ويمكن أخذ التوصيلية الكهربية التي تنتج عن انتقال الشحنات الكهربية خلال

المادة عندما يكون التيار الكهربائي مستمر أو عند الترددات الواطئة، وفي جميع الأحوال يمكن اعتبار التوصيلية الكهربائية للمادة مكوّنة من مركبتين:

$$\sigma = \sigma_{a.c} + \sigma_{d.c} \text{(18-2)}$$

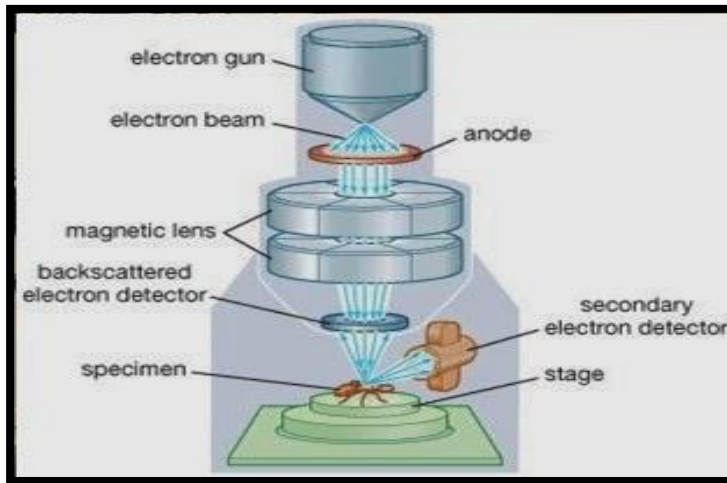
إذ ان:

$\sigma_{d.c}$: تمثل توصيلية المادة الكهربائية للتيار المستمر.

$\sigma_{a.c}$: تمثل توصيلية المادة الكهربائية للتيار المتناوب والتي تعبر عن الفقد في العازل.

Scanning Electron microscopy (8-2) المجهر الإلكتروني الماسح

المجهر الإلكتروني الماسح هو جهاز تحليلي لقياس وتحليل طوبوغرافية سطح المادة باستعمال حزمة من الإلكترونات بدلا من شعاع الضوء لتشكيل الصورة وكلمة ماسح تعني انه لايقوم بتصوير العينة مرة واحدة وانما يقوم بتركيز شعاع الإلكترونات على بقعة صغيرة من العينة ويلتقط الإلكترونات الثانوية المستطارة من المادة ثم ينتقل الى نقطة مجاورة ويلتقطها وهكذا متتابعا. من خصائص المجهر الإلكتروني الماسح انه يعطي صوراً أكثر وضوحا وقوة تكبير عالية تصل الى أكثر من (1000) مرة ويستطيع ان يركز شعاع الإلكترون من مستوى المايكرومتر الى مستوى النانومتر باستخدام مجال مغناطيسي وبذلك يمكننا من قياس وتحليل طوبوغرافية سطح المادة، كذلك القدرة التحليلية للمجهر الإلكتروني الماسح اعلى بكثير من القدرة التحليلية للمجهر الضوئي لانه يستعمل الخاصية الموجية للإلكترونات (عن طريق التحكم في طول الموجة للحصول على صور اذق لمكونات الأشياء المجهرية). المجهر الإلكتروني الماسح يزودنا بالصورة بطريقة الإلكترونات الثانوية او طريقة الإلكترونات المتأخرة (الرجعية) كما موضح في الشكل (6-2)[78].



الشكل (6-2): مخطط المجهر الإلكتروني الماسح [78].



الفصل الثالث

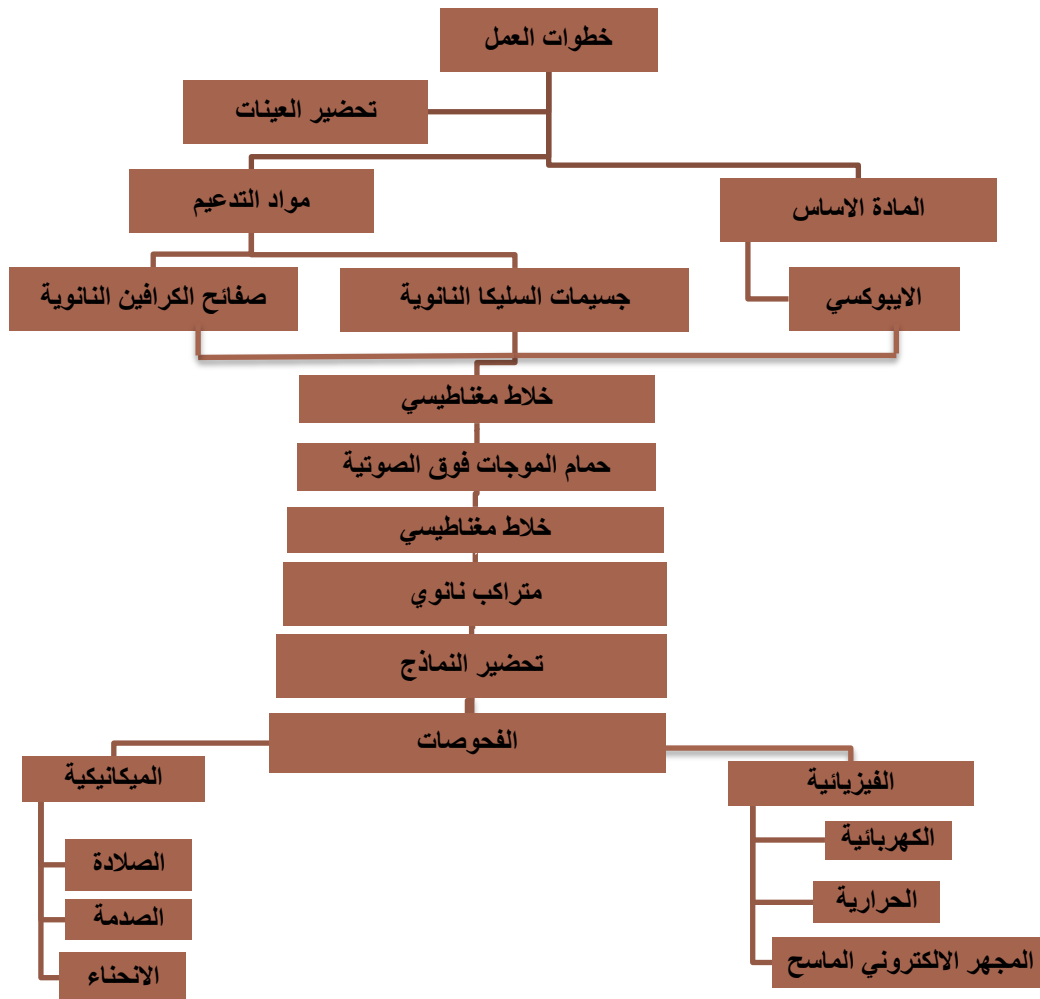
الجزء العملي



(1-3) المقدمة

Introduction

يتضمن هذا الفصل الجانب العملي للبحث ويشمل محورين رئيسيين بعد التعرف على المواد الأولية المستعملة في تحضير المادة المتراكبة واهم خواصها ومميزاتها فالمحور الاول يتعلق بأسلوب تحضير العينة مع عرض تخطيطي لأشكال العينات وابعادها مع صور توضيحية لها والانظمة العالمية المتبعة لتحضير العينات المستعملة في البحث اما المحور الثاني يتضمن تعريفاً للأجهزة المستعملة لأجراء الاختبارات المعتمدة في البحث. لقد تم اجراء مجموعة من الاختبارات الميكانيكية كاختبار الانحناء للمادة المتراكبة الذي يعطي فكرة حول مقاومة المادة للانحناء ومقدار مرونتها من خلال طبيعة الربط بين الدقائق والطور الاساس وكذلك فحص صلادة المادة وفحص الصدمة اما السلوك الحراري والتوصيلية الحرارية فقد تم من خلال فحوصات التوصيلية الحرارية والسلوك الكهربائي تم فحصه من خلال الفحوصات الكهربائية ودراسة شكل الكسر للعينات باستخدام جهاز المجهر الالكتروني الماسح والشكل (1-3) يوضح خطوات البحث بمراحله المختلفة.



الشكل (1-3): خطوات البحث بمراحله المختلفة .

The Row material Used

(2-3) المواد الاولية المستخدمة

Matrix Material

(1-2-3) المادة الاساس

المادة الاساس التي استخدمت في تحضير المادة المتراكبة هي راتنج الايبوكسي نوع (Quickmass105) الاردني المنشأ بامتياز من شركة (Fosroc) وهو في الحالة السائلة ويمكن بلمرته وتحوله للحالة الصلبة وذلك بإضافة المصلد (Hardener) الى الراتنج هي (من نفس نوع الراتنج اذ يتميز المصلد بانه سائل خفيف ذا لزوجة وكثافة واطنيتين ولون اصفر شفاف إن نسبة المصلد الى الراتنج هي (3:1) هذا يبين الجدول (1-3) بعض خصائص الايبوكسي المستعمل إن المدة التي يستغرقها الراتنج للتصلب اكثر من ثلاث ساعات عند درجة حرارة الغرفة يتم تركها لمدة اسبوعين وذلك لإتمام المعالجة وبعدها يتم تقطيع العينات بحسب المواصفات القياسية للاختبارات المستعملة في البحث ويتميز الايبوكسي المستعمل بكون لزوجته واطنة وكثافته واطنة وأنه يمتلك خاصية التصاق عالية ومقاومة كيميائية عالية ومعدل زحف واطي.

جدول (1-3): يوضح بعض الخصائص الفيزيائية للايبوكسي (Quick mast 105).

Property	Valuse
Compressive strength BS 6319	>72N/mm2 @ 7days @20°C
Flexural strength BS 6319	> 60 N/mm2 @ 35°C
Tensile strength BS 6319	> 25 N/mm2
Pot life	85 minutes @20°C
Specific gravity	1.04
Viscosity	1.0 poise @ 35 °C
Min. application Temperature	5°C

Reinforcement Material

(2-2-3) مواد التدعيم

استعمل في هذا البحث نوعين من مواد التدعيم النانوية وبنسب وزنية معينة ان المادتين التي تم استعمالها في التدعيم هي :

1- صفائح الكرافين النانوية: تم استخدام صفائح الكرافين النانوية الامريكية المنشأ من شركة (Skyspringnanomaterials Inc) ويدخل الكرافين النانوي في المجالات البيولوجية والكيميائية والطبية والجدول (2-3) يوضح صفات الكرافين المستخدم.

جدول (2-3): بعض خصائص الكرافين.

المظهر	سمك الصفائح	نسبة الكربون	معدل قطر الجسيمة	الكثافة الحقيقية
مسحوق اسود اللون	(8-6) نانو متر	99.5%	15 مايكرومتر	0.1g /cm3



الشكل (2-3): الكرافين النانوي.

1- جسيمات السليكا النانوية: تم استخدام مسحوق السليكا النانوية الامريكية المنشأ حيث تدخل دقائق السليكا النانوية في العديد من التطبيقات منها الدهانات ومستحضرات التجميل والزجاج والصلب والطلاء وفي العديد من المجالات الاخرى والجدول (3-3) يوضح صفات السليكا النانوية.

الجدول (3-3): بعض خصائص السليكا النانوية.

المظهر العام	سمك الجسيمات	نسبة اوكسيد السليكون	الكثافة الحقيقية
مسحوق ابيض اللون	(20-15) نانومتر	99.5%	2.4g/cm ³



الشكل (3-3): دقائق السليكا النانوية.

(3-3) الاجهزة المستخدمة وطريقة تحضير العينات

The equipment used

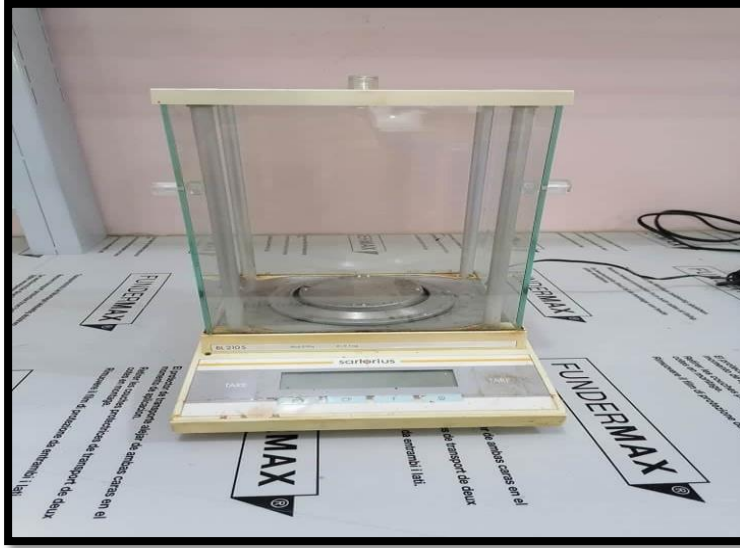
(1-3-3) الاجهزة المستخدمة

استعملت بعض الاجهزة لتحضير متراكب نانوي بوليمري (الايوكسي) المدعم بالكرافين النانوي والسليكا النانوية وهي على النحو الاتي:

Sensitive electronic blanc blanc

1. الميزان الالكتروني

وهو من الاجهزة المستخدمة في المختبرات العلمية لتحديد الكتل المطلوبة للمواد المستخدمة في عملية التحضير وله عداد رقمي يعطي نتيجة الوزن بشكل مباشر وبدقة عالية واستعمل ميزان كهربائي ذو حساسية (10^{-4}) حيث تم العمل في جامعة ديالى كلية العلوم قسم الفيزياء مختبر الدراسات العليا والشكل (4-3) يظهر صورة الميزان.

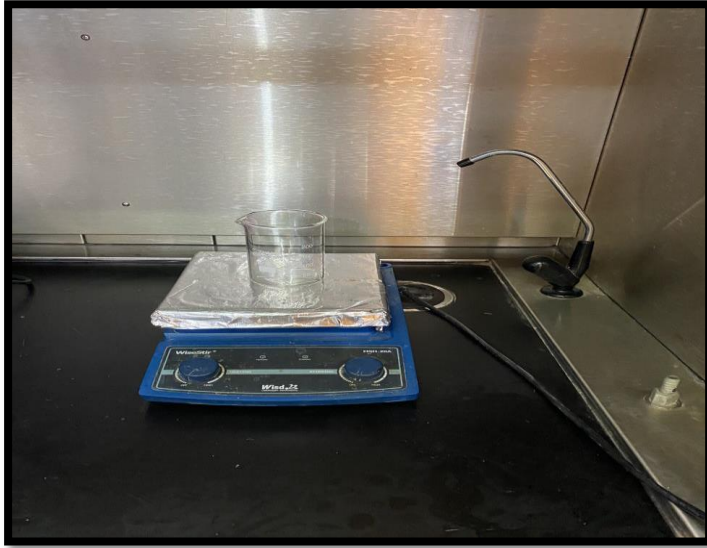


الشكل (4-3): الميزان الالكتروني الحساس.

Magnatic stirrer

2. الخلاط المغناطيسي

هو أداة مختبرية تعمل على تدوير وخط المحاليل الكيميائية ويتكون الخلاط المغناطيسي من محرك كهربائي مثبت به مغناطيس دائمي وأطباق حرارية او وسيلة اخرى لتسخين السائل. الخلاطات المغناطيسية ذات كفاءة عالية وأقل ضوضاء وصغيرة الحجم لهذا تفضل على نظيرتها من الخلاطات الميكانيكية حيث تم العمل في جامعة ديالى كلية العلوم قسم الفيزياء مختبر الدراسات العليا والشكل (5-3) يظهر صورة الخلاط المستخدم.



شكل (3-5): الخلاط المغناطيسي.

Utrosonic bath

3.جهاز حمام الموجات فوق الصوتية

تم استخدام جهاز حمام الموجات فوق الصوتية في تحضير العينات للحصول على محلول متجانس لعدم تكثف المواد، وذلك من خلال توليد موجات ذات تردد أكبر من الحد الأعلى لنطاق السمع البشري حيث تم العمل في مختبر الدراسات العليا قسم الفيزياء كلية العلوم .



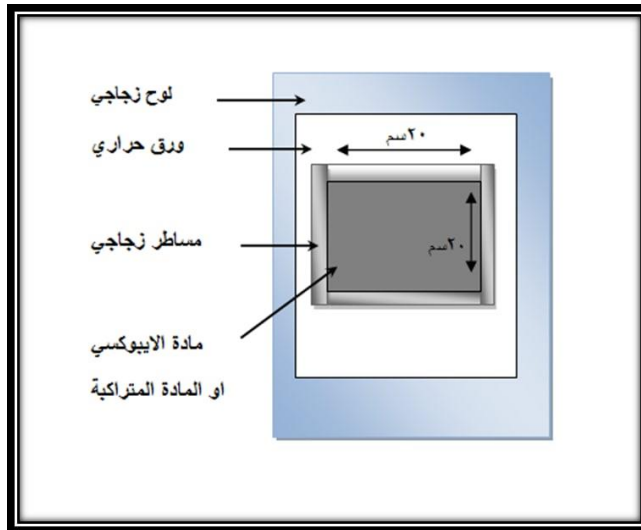
الشكل (3-6): جهاز حمام الموجات فوق الصوتية.

(4-3) تحضير العينات

Specimens preparation

يتم اعتماد طريقة القولية اليدوية (Modeling handhed) في تحضير العينات وتم اختيار هذه الطريقة دون الطرائق المعقدة لسهولة التصنيع بهذه الطريقة وامكانية تصنيع نماذج باحجام مختلفة وبحسب الحجم والابعاد المطلوبة ولذلك تكون الكلفة اقل من بقية الطرائق الاخرى ان عملية تحضير العينات تتم بعدة خطوات وهي كما يأتي:

الخطوة الاولى: تهيئة القالب وتشمل اعداد قالب خاص لعملية الصب وهو لوح من الزجاج يمثل قاعدة القالب مغلف بالورق الحراري الشفاف وذلك لمنع التصاق الراتنج على اللوح الزجاجي وسهولة اخراج القطع المصنعة بحيث يكون اللوح موضوعا على درجة عالية من الاستواء اذ يتم التأكد من استواء السطح بواسطة ميزان تسوية اما جوانب القالب فتكون من مساطر زجاجية بالسلك المطلوب مغلفة بالفابلون اللاصق الحراري بوصفه مادة عازلة وذلك لضمان عدم التصاق الراتنج على المساطر الزجاجية اذ يصبح شكل القالب كما مبين بالشكل (7-3).



الشكل (7-3): شكل القالب المستعمل.

الخطوة الثانية: تحضير العينات وتتخلص طريقة تحضير العينات بالخطوات الاتية:

1. يتم وزن كمية من راتنج الايبوكسي على وفق حجم القالب ويتم اضافة المصلد بنسبة (3:1)
2. يتم اضافة نسب معينة من كل من صفائح الكرافين النانوية وجسيمات السليكا النانوية وبحسب النسب الوزنية (0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1 wt%).
3. تبدأ بعدها عملية مزج مادة التقوية والمادة الاساس عند درجة حرارة الغرفة ويخلط المزيج بشكل مستمر ويوضع الخليط على جهاز الخلاط المغناطيسي لمدة (15minet) وبعدها يوضع الخليط في

حمام الموجات فوق الصوتية لمدة ساعتين للحصول على تجانس الخليط وبعدها يضاف المصلد الى الخليط ثم يوضع على الخلاط المغناطيسي لمدة (30minet).

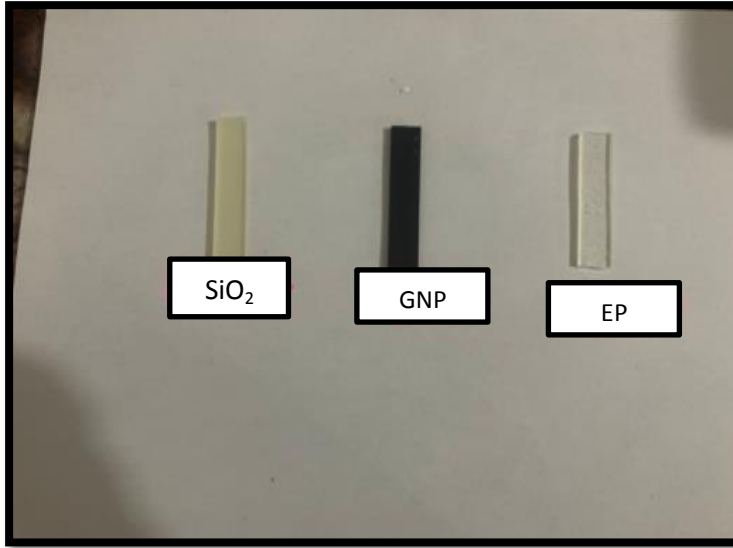
1. يتم صب المزيج السائل على شكل سيل في منتصف القالب لتجنب حدوث فقاعات هوائية في المصبوبة التي تسبب حدوث الفشل فيها بحيث ينساب الى كل مناطق القالب بصورة مستمرة ومنتظمة الى ان يمتلئ القالب الى المستوى المطلوب وهنا يجب ان يكون القالب بشكل مستو تماما.

2. تترك النموذج المصبوب في القالب لمدة اسبوعين لكي تتصلب بشكل نهائي قبل اخراجها من القالب ثم بعد اخراجها من القالب تترك لمدة ١٥ يوم وهذه العملية مهمة لإكمال البلمرة.

3. يتم تقطيع العينات على وفق المواصفات المعتمدة لكل فحص.

(5-3) عينات اختبار الانحناء

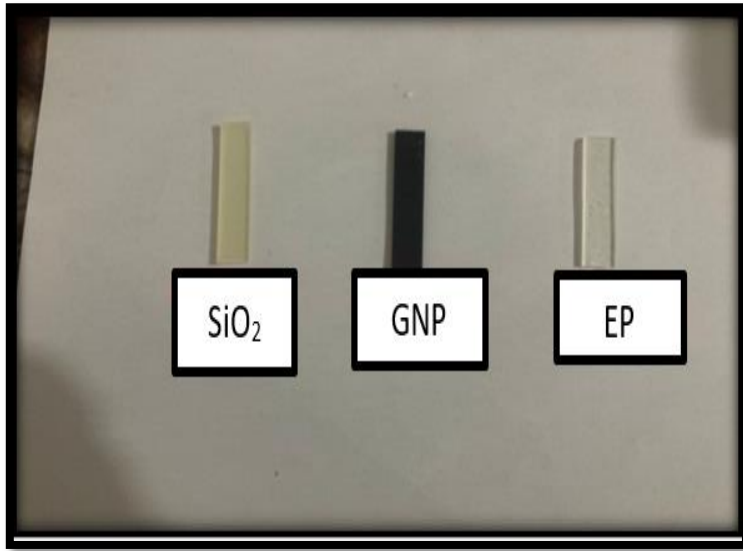
يتم تحضير عينات الانحناء وفقا للمواصفات الجهاز وكما موضحة وبطول (10cm) وعرض (1cm) وسمك (4mm) إذ استخدم جهاز انسترون وبمدى (1000N).



شكل (8-3) : عينات اختبار الانحناء.

(6-3) عينات اختبار الصلادة

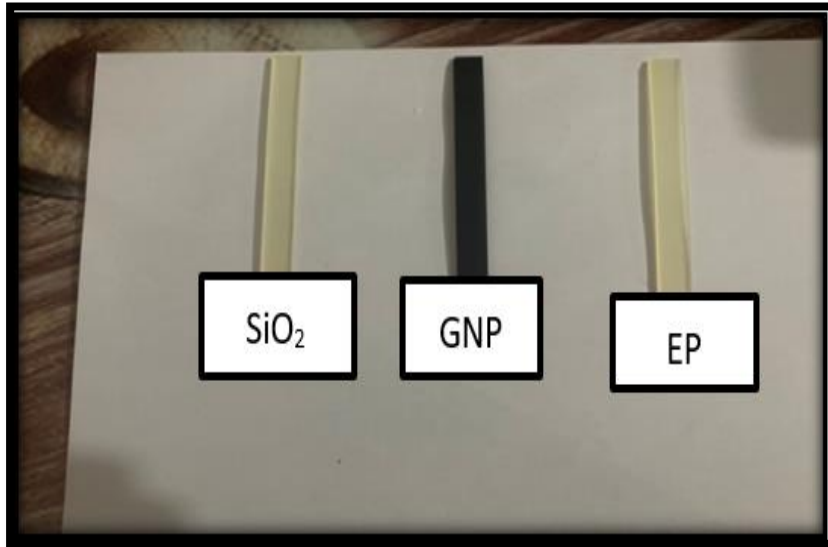
تم تقطيع عينات اختبار الصلادة بطول (6cm) وبعرض (1cm) وبسمك (4mm) كما موضح بالشكل



شكل (9-3): عينات اختبار الصلادة.

(7-3) عينات اختبار الصدمة

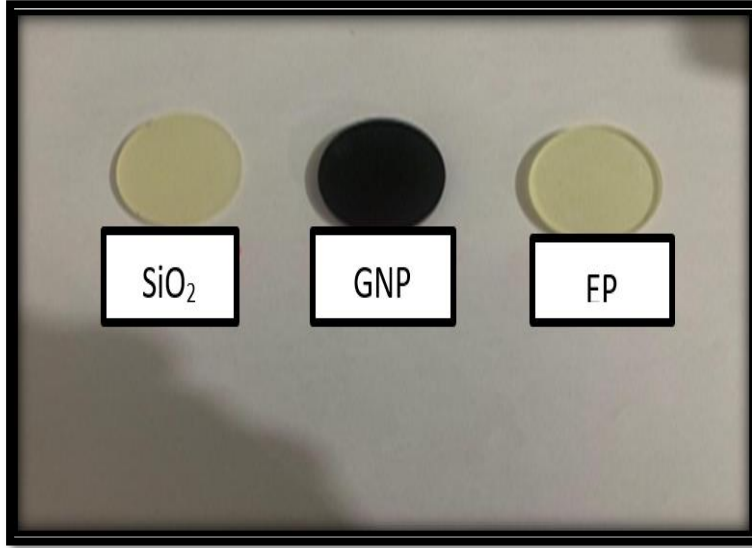
تم تقطيع عينات الصدمة بطول (6cm) وعرض (1cm) وبسمك (4mm) كما موضح في الشكل



شكل (10-3): عينات اختبار الصدمة.

(8-3) عينات اختبار التوصيل الحراري

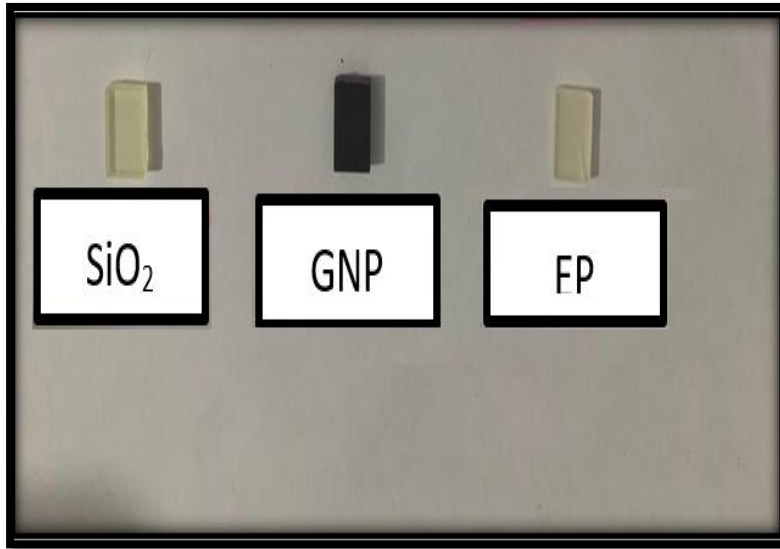
تم تقطيع العينات بشكل دائري وبقطر (4cm) وبسمك (4mm) كما موضح بالشكل وهذه العينات خاصة بجهاز قرص لي المستعمل في الفحص



شكل (11-3): عينات اختبار التوصيل الحراري.

(9-3) عينات اختبار التحول الزجاجي

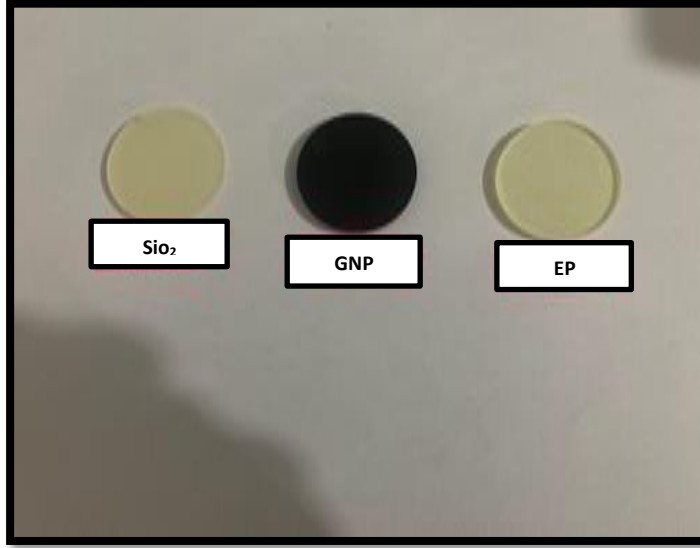
تم تقطيع عينات هذا الاختبار بطول (1cm) وبعرض (1cm) وبسمك (4mm) كما مبين في الشكل.



الشكل (12-3): عينات اختبار التحول الزجاجي.

(10-3) عينات اختبار التوصيلية الكهربائية

تم تقطيع العينات بقطر (4cm) وبسمك (4mm) كما موضح في الشكل.



الشكل (13-3): عينات اختبار التوصيلية الكهربائية.

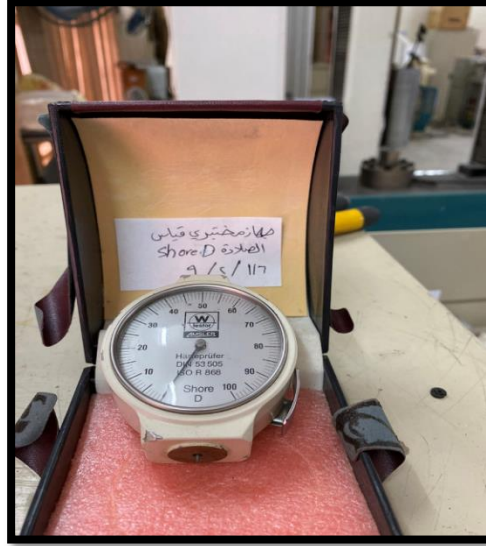
Equipevice used test

(11-3) الاجهزة المستعملة في الاختبارات

Hardness test device

(1-11-3) جهاز اختبار الصلادة

لأجل إجراء اختبار الصلادة لمتراكب نانوي بوليمري (الايوكسي) المدعم بالكرافين النانوي والسليكا النانوي تم استخدام جهاز (shored) من نوع (Hanepufer DW 53505) وهو جهاز يدوي يتكون من نابض محمل بأداة غرز بشكل ابرة يخترق سطح العينة ويسجل الرقم الذي يظهر على الشاشة الموجودة في الجهاز شكل (3-14) يوضح الشكل جهاز اختبار صلادة (ShoreD) حيث تم الفحص في الجامعة التكنولوجية كلية الهندسة قسم المواد.



شكل (3-14): جهاز اختبار الصلادة.

Impact test device

(3-11-2) جهاز اختبار الصدمة

من أجل حساب الطاقة المطلوبة لكسر العينة والتي يمكن من خلالها حساب مقاومة المادة للصدمة تم استخدام جهاز الصدمة نوع جاربي (charpy test) الموضح في الشكل (3-15) و هو من الاجهزة ذات التركيب البندولي الذي يمتلك طاقة كسر تفوق الطاقة اللازمة لكسر العينة التي تكون قيد الاختبار اما بالنسبة لتقنية الاختبار في جهاز جاربي فهي تتم عن طريق رفع المطرقة الى اقصى ارتفاع وتثبيت جيدا وتوضع عينة الاختبار في المكان المخصص لها وبعد ذلك يتم تفسير مقياس الطاقة اولا ثم يحرر البندول (المطرقة) ليصطدم بالنموذج بحركة تأرجحية ليتم تحويل الطاقة الكامنة الى طاقة حركية يفقد جزء منها في كسر العينة ومقدار هذه الطاقة يمثل قيمة طاقة كسر العينة وبتحديد مساحة المقطع العرضي للعينة في منطقة الكسر يمكن تعيين قيمة متانة الكسر للمادة والمادة التي تمتلك طاقة كسر عالية تكون ذات متانة عالية الشكل (3-15) يوضح جهاز فحص الصدمة حيث تم الفحص في الجامعة التكنولوجية قسم هندسة المواد.



الشكل (3-15): صورة جهاز اختبار مقاومة الصدمة.

Bending device Test

(3-11-3) جهاز اختبار الانحناء

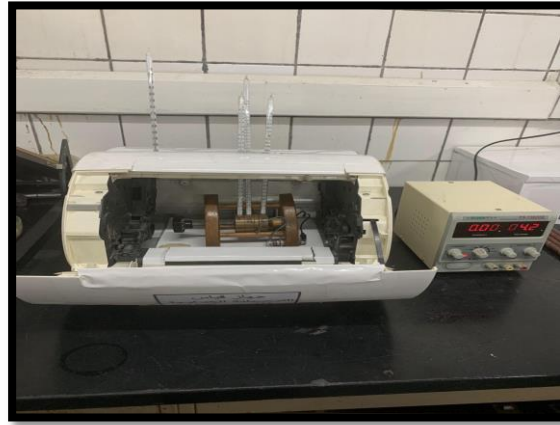
تم اجراء اختبار الانحناء ثلاثي النقط (Three point bending test) باستعمال الجهاز المصنوع من شركة (Instron) وبمدى (1000N) مزود بشاشة رقمية وكذلك راسم لتسجيل قيم الحمل المسلط على العينة وتم فحص العينات وذلك بوضع العينة على مرتكزين ببعده (64mm) وبحسب المواصفات العالمية (ASTM 690-1984) تم تسليط القوة في منتصف العينة وقد سجلت القوة في منتصف العينة وما يقابلها من الانحراف الحاصل في منتصف العينة والشكل (3-16) جهاز اختبار الانحناء حيث تم الفحص في الجامعة التكنولوجية كلية الهندسة قسم المواد.



شكل (3-16): جهاز اختبار الانحناء.

Thermal conductivity test (4-11-3) جهاز اختبار التوصيلية الحرارية

في هذا الاختبار تم استعمال طريقة قرص لي (Lees Disc) الخاصة بحساب التوصيلية الحرارية للمواد العازلة وذلك باستعمال الجهاز المصنع من شركة (Griffenand geody) الانكليزية الموضح بالشكل (3-17) وتم حساب التوصيلية الحرارية للمتراكب النانوي المدعم بالكربون النانوي والسليكا النانوي اذ يتكون الجهاز من ثلاث اقراص (A, B, C) ومسخن كهربائي يربط الى دائرة كهربائية بحيث توضع العينة بين القرصين (A, B) حيث يوضع المسخن الكهربائي بين القرصين (B, C) وعند بدأ تشغيل جهاز القدرة لتشغيل المسخن الكهربائي يتم تسخين الاقراص ويبدأ انتقال الطاقة الحرارية من المسخن الى القرص الذي يليه حتى تصل الى القرص الاخير وعند الوصول الى حالة الاتزان الحراري تسجل قراءة المحارير الموجودة في كل قرص وهي (TA, TB, TC) الشكل (3-17) يوضح جهاز اختبار التوصيلية الحرارية حيث تم الفحص في وزارة العلوم والتكنولوجيا مركز الفحوصات المتقدمة .



الشكل (3-17): جهاز قياس التوصيلية الحرارية (Lees Disc).

Glass-Transition Temperature (5-11-3) جهاز اختبار درجة التحول الزجاجي

لكي نقوم بحساب درجة حرارة التحول الزجاجي (Tg) باستعمال جهاز المسح الحراري (Different scanning calorimeter) والمصنع من شركة (shimadzu) اليابانية والذي هو احد التقنيات المستعملة للتعرف على الخواص الحرارية للعينة من خلال حساب الفرق في كمية الحرارة عند رفع درجة حرارتها حيث يتم وصف ارتفاع درجة الحرارة بعلاقة خطية مع الزمن وكذلك يوفر المسح الحراري معلومات عن العينة منها درجة التحول الزجاجي ودرجة الانصهار البلوري ويتكون الجهاز من وعائين احدهما توضع فيه المادة المراد قياسها والاخر يترك فارغا وهو الوعاء المرجعي حيث يتم وضع الوعائين في فرن يسخن عادة بمعدل (10) درجات في الدقيقة الواحدة ويحتوي كل وعاء على لاقط حراري موصل الى شاشة الحاسوب و يسجل التغير في درجات

الحرارة اللازمة لوصول العينة لنفس درجة حرارة مادة العينة الموضوعة وينتج هذا الفرق في درجات الحرارة الى ان احد الوعائين يحتوي على المادة والثاني فارغ كلما كانت المادة اكبر كلما نحتاج الى زمن اطول لتسخينها إذ تسجل درجات الحرارة وترسم بيانيا ومن خلال الرسوم البيانية يمكننا معرفة درجة التحول الزجاجي وكذلك يحسب الحاسب الالي الفرق في درجة الحرارة بين العينة والوعاء الفارغ المرجعي ويحولها الي تدفق حراري الشكل (3-18) يوضح جهاز (Differential Scanning Colarimeter) حيث تم الفحص في الجامعة التكنولوجيا كلية الهندسة قسم المواد.



الشكل (3-18): صورة جهاز (DSC) Differential Scanning Colarimeter .

Electrical test device

(6-11-3) جهاز اختبار الفحوصات الكهربائية

تم اجراء الفحوصات الكهربائية العزلية والمتمثلة بالتوصيلية الكهربائية المتناوبة كدالة للتردد لمترابك نانوي باستخدام جهاز (LCR meter) من نوع (Impedance Analyz Agilent) (4294A) وبمدى تردد (50hz-5mhz) الشكل (3-19) يوضح جهاز (LCR Metter) حيث تم الفحص في وزارة العلوم والتكنولوجيا مركز الفحوصات المتقدمة .



الشكل (3-19): صورة جهاز (LCR Metter).

(7-11-3) المجهر الإلكتروني الماسح Scanning Electron Microscopy (SEM)

أستخدم المجهر الإلكتروني الماسح نوع (TESCAN/VEGA//2) للحصول على معلومات عن طبوغرافية السطح ودراسة تأثير إضافة مواد التدعيم على المتراكبات والشكل (3-20) يوضح المجهر الإلكتروني الماسح حيث تم الفحص في الجامعة التكنولوجية مركز النانو.



الشكل (3-20) : المجهر الإلكتروني الماسح.



الفصل الرابع

النتائج والمناقشة



(1-4) المقدمة

Introduction

يستعرض هذا الفصل النتائج كافة التي تم التوصل اليها في الدراسة الحالية مع مناقشتها وقد تم توضيح جميع النتائج بالرسومات البيانية لجميع الاختبارات والمتمثلة بالاختبارات الميكانيكية (الصلادة والصدمة والانحناء) والفحوصات الحرارية (التوصيلية الحرارية ودرجة الانتقال الزجاجي) والفحوصات الكهربائية.

(2-4) الخصائص الميكانيكية

Mechanical properties

(1-2-4) اختبار الصلادة

Hardness test

من المعروف أن الصلادة هي خاصية تعبر عن حالة سطح المادة وعند اجراء هذا النوع من الاختبارات تستخدم عادة رؤوس دقيقة اوكرات صغيرة مصنوعة من مواد صلدة لغرض التغلغل في المادة وعندها يحصل أولا تشوه مرن يتبعه تشوه لدن مما يؤدي الى تكوين أثر لأداة الغرز على سطح العينة في معظم اختبارات الصلادة واحيانا يكون اختبار الصلادة مجهريا وقد تم استخدام اختبار الصلادة نوع (shored) للعينات المحضرة من مادة الايبوكسي المدعومة بالدقائق (SiO_2, GNP) وبنسب مختلفة.

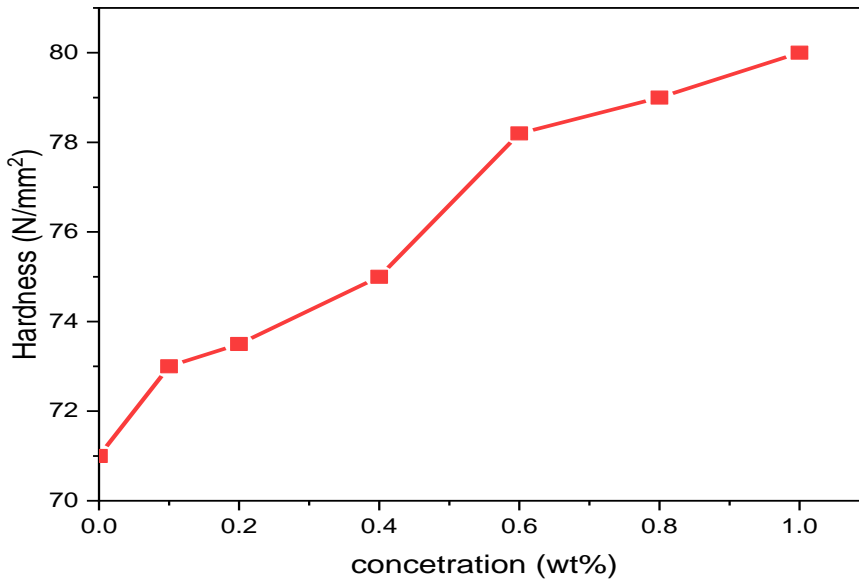
اختبار الصلادة لعينات الايبوكسي المدعومة بالدقائق (SiO_2, GNP) النانوية موضحة بالأشكال (1-4) و(2-4) و(3-4) توضح تأثير تدعيم الايبوكسي بدقائق السليكا النانوية وصفائح الكرافين النانوي ودقائق السليكا النانوي و الكرافين النانوي معا على التوالي وبنسب مختلفة اذ نلاحظ زيادة قيمة الصلادة عند التدعيم بدقائق السليكا النانوية حيث ان جسيمات السليكا النانوية تعمل على تحسين الخواص الميكانيكية للمتراكبات اذ تعمل الدقائق النانوية على زيادة مقاومة المادة للتشوه وبالاعتماد على كيفية توزيع الدقائق داخل المادة الاساس وكذلك ان الدقائق النانوية تمتلك صلادة ومثانة عاليتين كما يلاحظ نسبة المادة النانوية المضافة ادت الى زيادة الصلادة وذلك لزيادة المساحة التي يشغلها الطور السيراميكي في الطور البوليمري وكذلك طبيعة الدقائق النانوية المستخدمة والتي تعمل عوائق لتشوه المادة الاساس بسبب الصلادة العالية لهذه الدقائق النانوية ومن جهة اخرى فان توزيع المادة المضافة يؤدي الى صلادة المادة المتراكبة الناتجة نظرا لصغر حجم الدقائق النانوية فأنها اثناء عملية التصنيع تكون سهلة في عملية التغلغل الى داخل المادة الاساس والى داخل الفراغات البينية ومن مفهوم الصلادة يمكن اعتبارها مقياسا للتشوه اللدن الذي يمكن ان يحدث في المادة تحت تأثير خارجي وان اضافة الدقائق النانوية يزيد من صلادة المادة نتيجة لزيادة مقاومتها للتشوه اللدن [79]. كما يعمل الكرافين النانوي على تحسين الخواص الميكانيكية وذلك لان ذرات الكرافين تربط مع

بعضها البعض بروابط سداسية وهذا الشكل الفريد للكرافين يجعله يتميز بصلادة عالية ومساحة سطحية عالية.

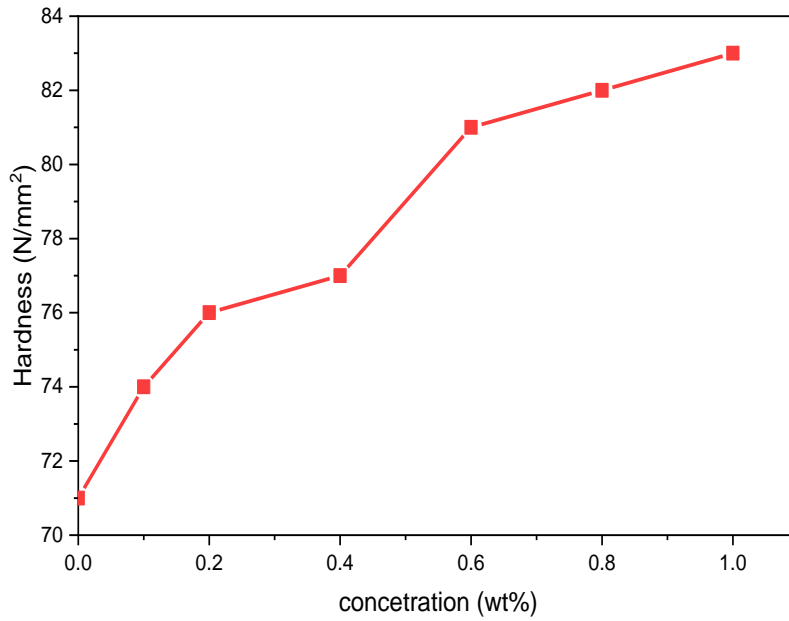
أما زيادة قيم الصلادة للمترابك الهجين المدعم بجسيمات السليكا النانوية وصفائح الكرافين معا يعود الى تفاعل الجسيمات النانوية مع البوليمر وكذلك يعود الى الصفات لخصائص الميكانيكية للجسيمات النانوية و الجدول(1-4) يوضح قيم الصلادة للايبوكسي المدعم بدقائق السليكا النانوية و الكرافين النانوي.

الجدول (1-4) : يوضح قيم الصلادة الايبوكسي المدعم بالسليكا النانوي والكرافين النانوي.

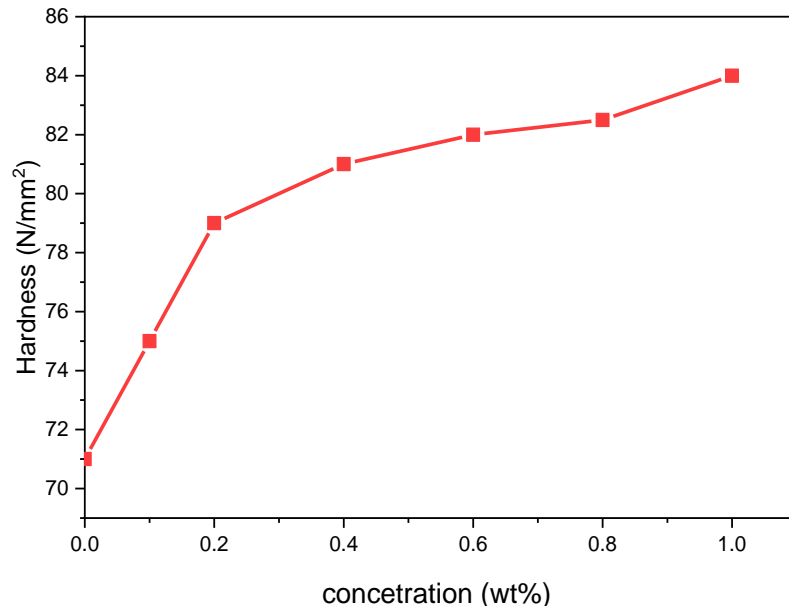
Concentration wt%	Hardness N/ mm ²	Concentration (wt%)	Hardness N/mm ²	Concentration (wt%)	Hardness N/mm ²
Ep	71	Ep	71	EP	71
SiO ₂ (0.1)	73	GNP0.1	74	(SiO ₂ +GNP)0.1	75
SiO ₂ (0.2)	73.5	GNP0.2	76	(SiO ₂ +GNP)0.2	79
SiO ₂ (0.4)	75	GNP0.4	77	(SiO ₂ +GNP)0.4	81
SiO ₂ (0.6)	78.2	GNP0.6	81	(SiO ₂ +GNP)0.6	82
SiO ₂ (0.8)	79	GNP0.8	82	(SiO ₂ +GNP)0.8	82.5
SiO ₂ (1.0)	80	GNP1.0	83	(SiO ₂ +GNP)1.0	84



الشكل (1-4): قيم الصلادة للايبوكسي المدعم بدقائق السليكا النانوية.



الشكل (2-4): قيم الصلادة للايبوكسي المدعم بالكرافين النانوي.



الشكل (3-4): قيم الصلادة للايبوكسي المدعم بدقائق السليكا النانوية والكرافين النانوي.

Impact test

(2-2-4) اختبار الصدمة

تم إجراء اختبار الصدمة بطريقة (Charpy Impact Test) وتم حساب مقاومة الصدمة للعينات المحضرة من مادة الايبوكسي قبل وبعد التدعيم بدقائق (SiO₂,GNP) النانوية وبنسب وزنية مختلفة وكانت النتائج كما يلي :

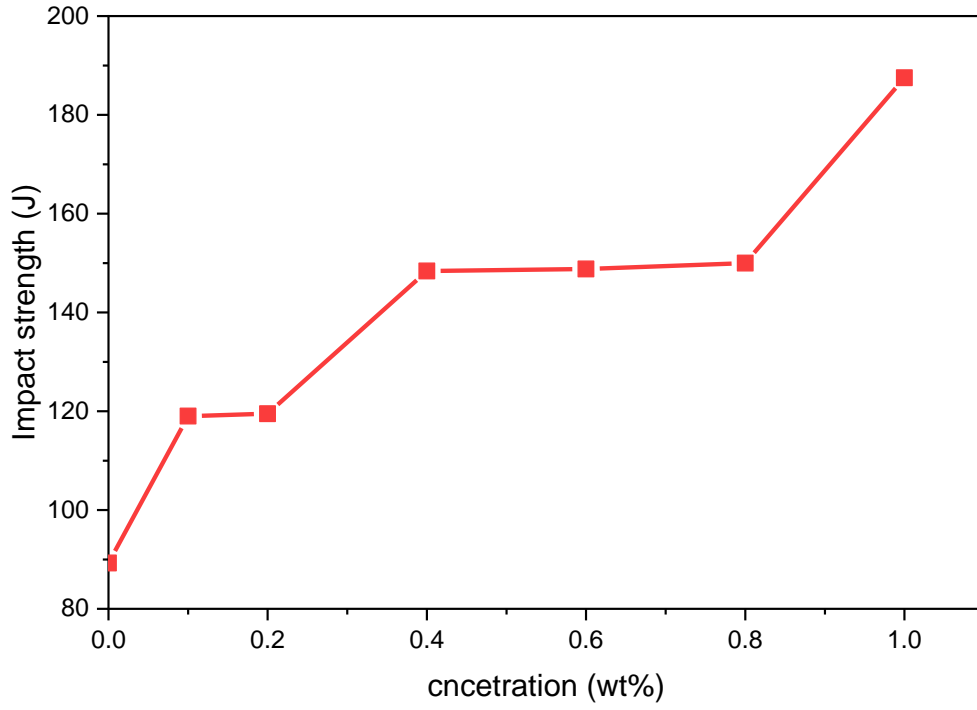
1- اختبار الصدمة للعينات الايبوكسي قبل وبعد التدعيم بدقائق (SiO₂,GNP) النانوية

تبين الأشكال (4-4) و(4-5) و(4-6) تأثير تغير الكسر الحجمي على الطاقة الممتصة اللازمة لكسر الايبوكسي المدعم بالدقائق النانوية (السليكا النانوية والكرافين النانوي) وبنسب وزنية مختلفة إذ نلاحظ أنَّ الطاقة الممتصة للكسر تزداد عند التدعيم بالدقائق النانوية وبالتالي تؤدي الى زيادة مقاومة الصدمة إذ تعمل الدقائق النانوية على اعاقه حالة الكسر لكونها تتحمل الجزء الاكبر من الحمل المسلط على العينة نتيجة عمل مواد التدعيم كحاجز امام الشق النامي خلال المادة المتراكبة وكذلك تعمل على اعاقه نمو الشق وهذا يؤدي الى تغير الشق واتجاهه بتحواله الى مجموعة شقوق ثانوية. ان هذا التغير في شكل الشق واتجاهه ادى الى زيادة المساحة السطحية للكسر والطاقة وهذه كلها عوامل أدت الى زيادة مقاومة المادة وهذه الحالة تكون افضل عندما يكون الترابط قوي للسطح البيني بين مواد التدعيم والمادة الاساس وذلك لانتقال الكسر خلال السطح البيني حول الدقائق النانوية في حالة عدم تكسر الدقائق النانوية [80].

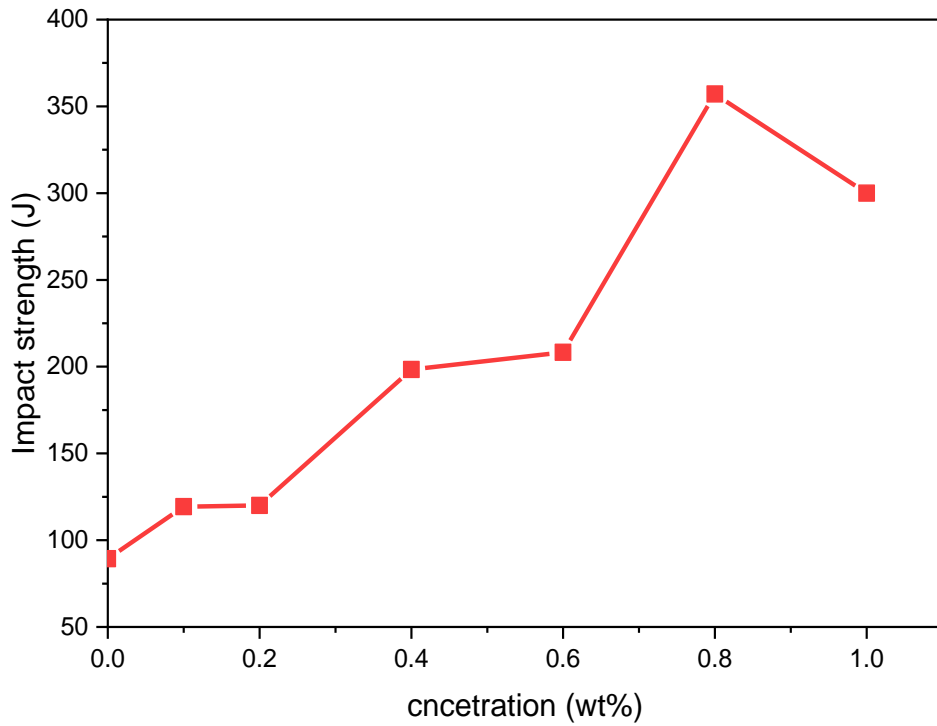
وكذلك نلاحظ أنَّ قيم مقاومة الصدمة للايبوكسي المدعم بصفائح الكرافين أعلى من قيم مقاومة الصدمة للايبوكسي المدعم بجسيمات السليكا النانوية ويعود هذا الاختلاف الى ما يمتلكه الكرافين من خصائص ميكانيكية عالية كما نلاحظ زيادة مقاومة الصدمة عند التدعيم بالمواد النانوية ويعود سبب ذلك الى طبيعة توافق الدقائق النانوية مع الايبوكسي. والجدول (2-4) يوضح قيم مقاومة الصدمة لمتراكبات الايبوكسي المدعمة بالدقائق النانوية (السليكا النانوية والكرافين النانوي).

جدول (2-4) : قيم مقاومة الصدمة للايبوكسي المدعم بالسليكا النانوية والكرافين النانوي.

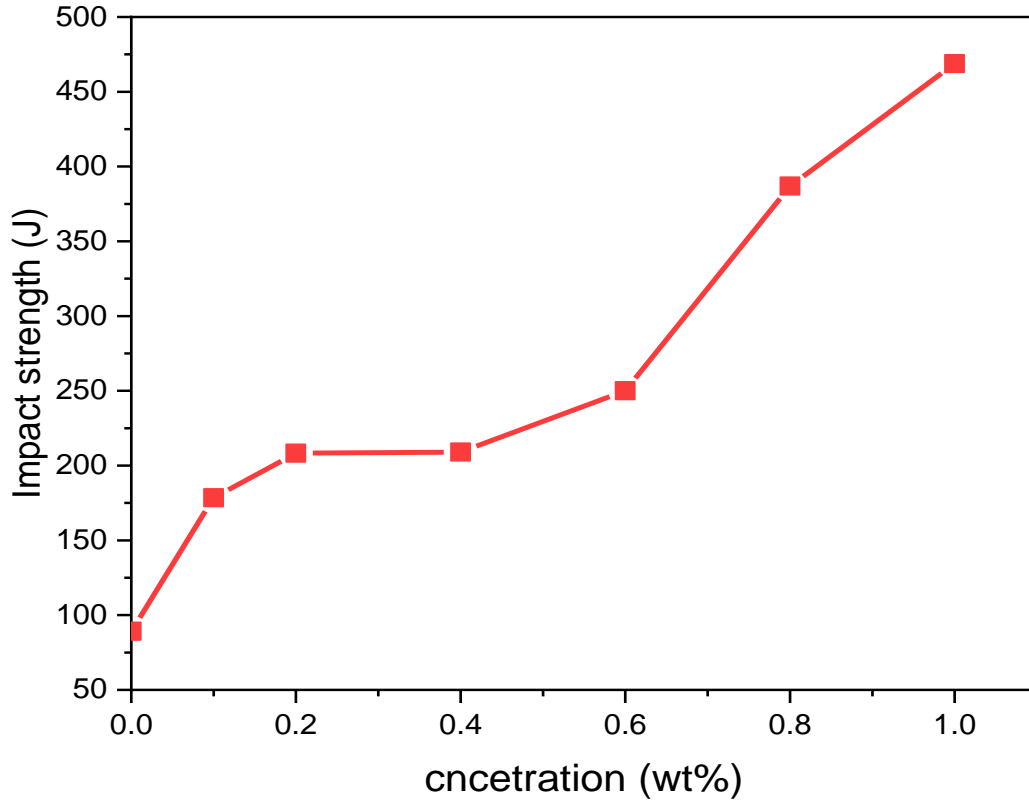
Concentration wt%	Impact strength(J)	Concentration wt%	Impact strength(J)	Concentration wt%	Impact strength(J)
Ep	89.28	Ep	89.28	EP	89.28
SiO ₂ (0.1)	119	GNP0.1	119.3	(SiO ₂ +GNP)0.1	178.5
SiO ₂ (0.2)	119.5	GNP0.2	120	(SiO ₂ +GNP)0.2	208.3
SiO ₂ (0.4)	148.4	GNP0.4	198.4	(SiO ₂ +GNP)0.4	209
SiO ₂ (0.6)	148.8	GNP0.6	208.3	(SiO ₂ +GNP)0.6	250
SiO ₂ (0.8)	150	GNP0.8	357.1	(SiO ₂ +GNP)0.8	386.9
SiO ₂ (1.0)	187.5	GNP1.0	300	(SiO ₂ +GNP)1.0	468.75



الشكل (4-4): قيم مقاومة الصدمة للايبوكسي المدعمة بدقائق السليكا النانوي.



الشكل (5-4): قيم مقاومة الصدمة للايبوكسي المدعم بالكربون النانوي.



الشكل (6-4): قيم مقاومة الصدمة للايبيوكسي المدعم بالكرافين النانوية والسليكا النانوية.

Bending test

(3-2-4) اختبار الانحناء

تم اجراء اختبار الانحناء الثلاثي النقط لعينات الايبوكسي النقي قبل وبعد التدعيم بجسيمات السليكا النانوية وصفائح الكرافين النانوية وبنسب وزنية مختلفة وكانت النتائج كما يلي .

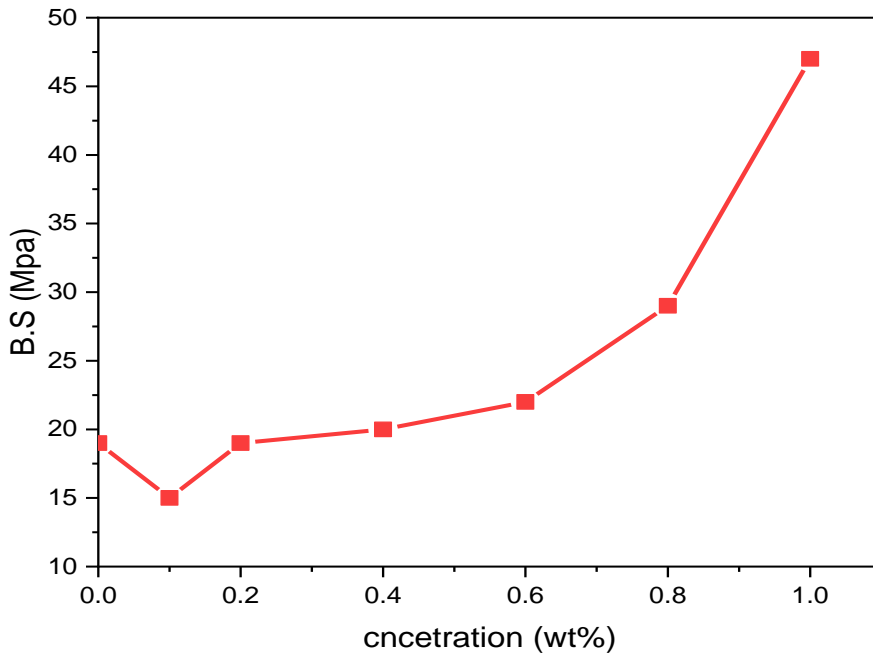
1- اختبار الانحناء لعينات الايبوكسي قبل وبعد التدعيم بجسيمات السليكا النانوية وصفائح الكرافين النانوية

يختلف اختبار مقاومة الانحناء عن اختبار الشد بطبيعة القوى المؤثرة في العينة قيد الاختبار فهنا بدل من قوة الشد فقط ستكون قوة الشد والضغط معاً. كما تتأثر مقاومة الانحناء بشكل كبير بقوة الربط بين مادة الأساس ومادة التقوية [12]. تم اختبار الانحناء ثلاثي النقط للعينات التي تم تحضيرها من مادة الأيبوكسي Ep قبل إضافة مواد التدعيم النانوية (SiO_2, GNP) وعينات أخرى بعد إضافة مواد التدعيم النانوية بنسب وزنية مختلفة حيث توضح الاشكال (7-4) (8-4) (9-4) قيم الانحناء للايبيوكسي المدعم بالسليكا النانوية و الكرافين النانوي بنسب وزنية (0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1%) اذ تبين من الاشكال زيادة قوة الانحناء عند زيادة النسب الوزنية لمواد التدعيم ويعود سبب هذه الزيادة الى قوة الترابط بين المادة الاساس ومواد التدعيم وكذلك تشتت افضل لمواد التدعيم النانوية بسبب

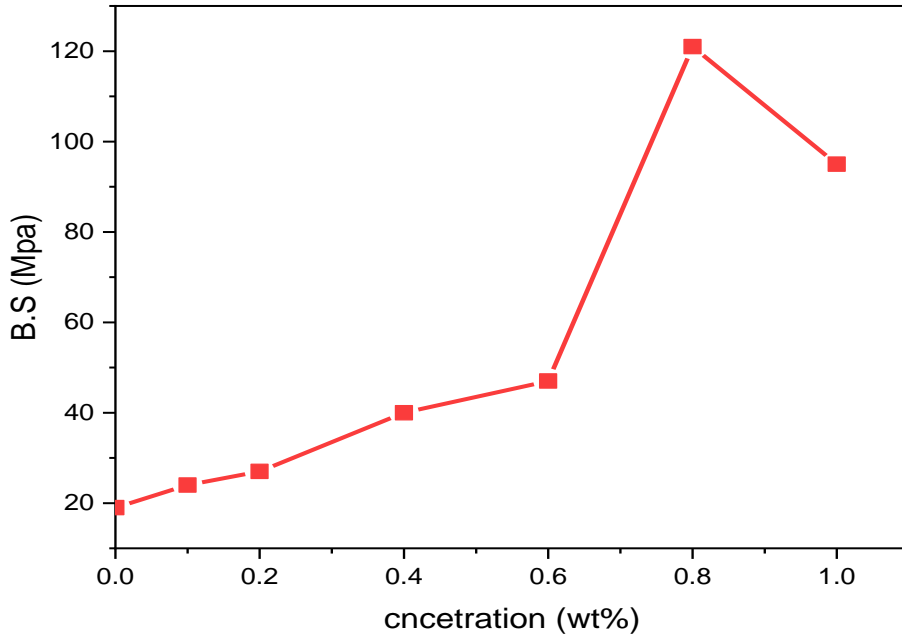
ضعف قوة فاندرفالز وكذلك تكوين روابط تساهمية بين مواد التدعيم والمادة الأساس (الايوكسي) [81]. اذ يؤدي الارتباط التساهمي القوي الى تقليل الضغط اكثر مما هو عليه في مصفوفة الايوكسي اذ يعود النقصان عند نسبة (1%) إلى تراكم مواد التدعيم وقوة تلاصقها بالمادة الأساس [82,83]. حيث يوضح الجدول (3-4) قيم معامل الانحناء للايوكسي المدعم بدقائق السليكا النانوية وصفائح الكرافين النانوية

الجدول (3-4): قيم معامل الانحناء للايوكسي المدعم بالسليكا النانوية و الكرافين النانوي.

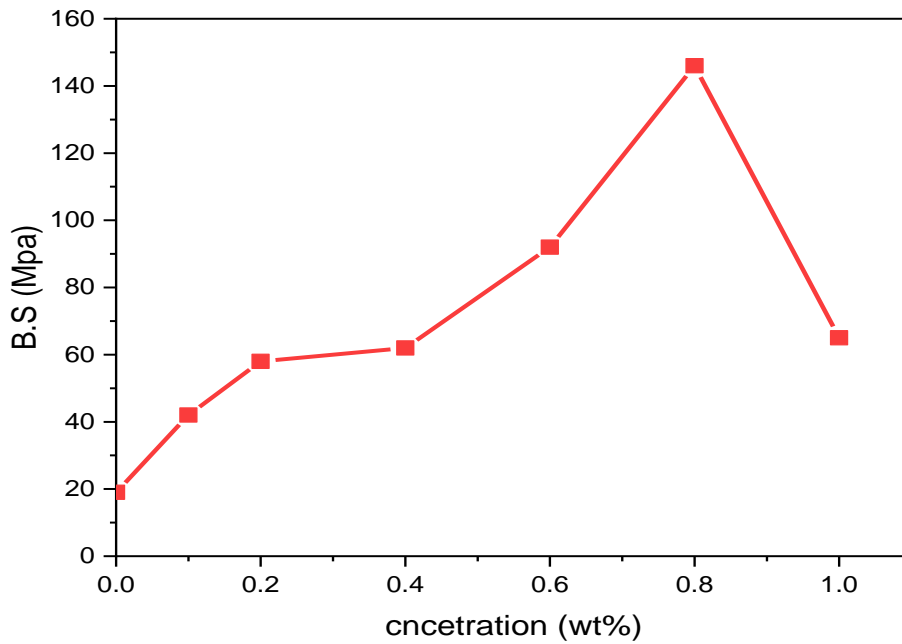
Concentration wt%	B.S (MPa)	Concentration wt%	B.S (MPa)	Concentration wt%	B.S (MPa)
Ep	19	Ep	19	EP	19
SiO ₂ (0.1)	15	GNP0.1	24	(SiO ₂ +GNP)0.1	42
SiO ₂ (0.2)	19	GNP0.2	27	(SiO ₂ +GNP)0.2	58
SiO ₂ (0.4)	20	GNP0.4	40	(SiO ₂ +GNP)0.4	62
SiO ₂ (0.6)	22	GNP0.6	47	(SiO ₂ +GNP)0.6	92
SiO ₂ (0.8)	29	GNP0.8	121	(SiO ₂ +GNP)0.8	146
SiO ₂ (1.0)	47	GNP1.0	95	(SiO ₂ +GNP)1.0	65



الشكل (7-4): قيم معامل الانحناء للايوكسي المدعم بالسليكا النانوية.



الشكل (4-8): قيم معامل الانحناء للايوكسي المدعم بالكرافين النانوية.



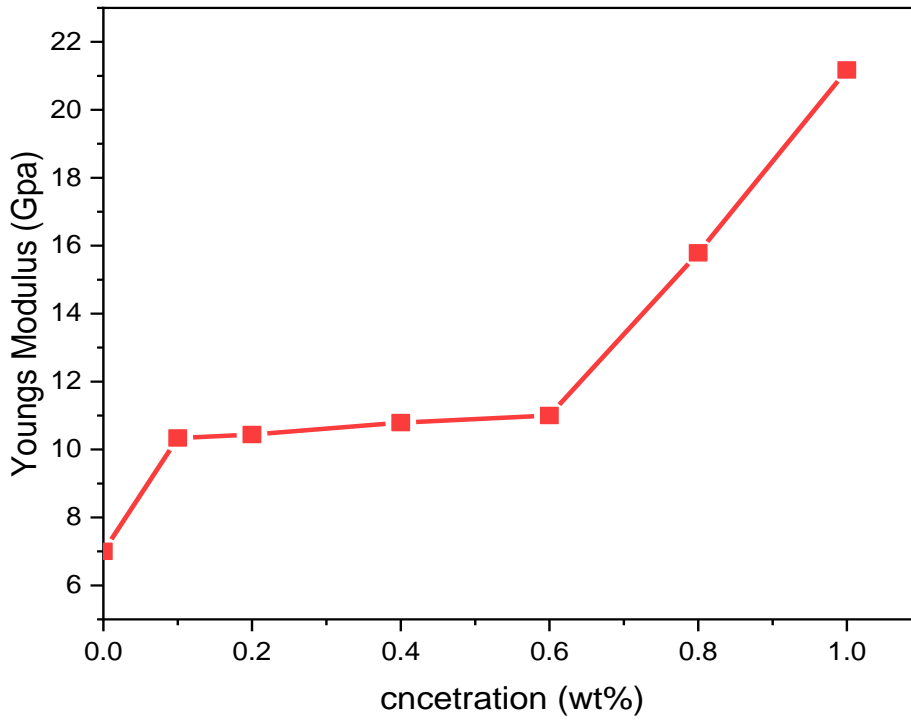
الشكل (4-9): قيم معامل الانحناء للايوكسي المدعم بدقائق السليكا النانوية والكرافين النانوية.

تم حساب معامل يونك الانحنائي (E_B) للمادة الأساس ومتراكباتها من معادلة (2-5) حيث توضح الاشكال (4-10) و(4-11) و(4-12) معامل يونك الانحنائي حيث نلاحظ زيادة معامل يونك الانحنائي للايوكسي النقي عند زيادة النسب الوزنية لمواد التدعيم النانوية وتعود هذه الزيادة إلى قوة الترابط بين المادة الأساس ومواد التدعيم ثم يعود النقصان للنسبة (1%) تراكم مواد التدعيم وتكتلها مع

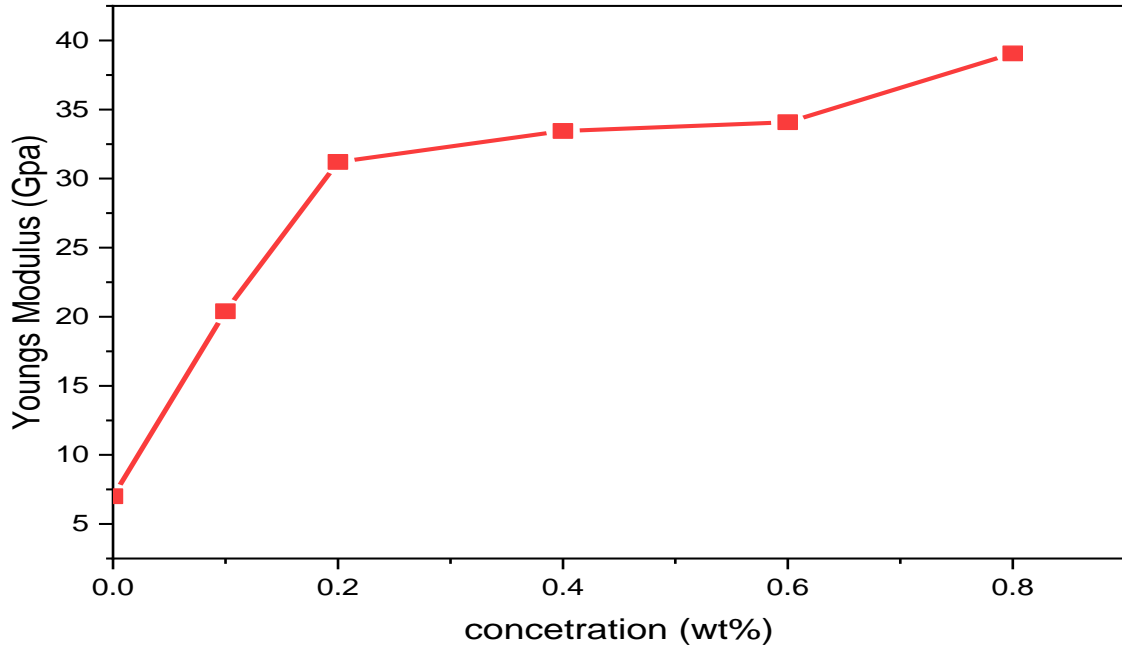
بعض وقوة تلاحقها بالمادة الأساس [84]. والجدول (4-4) يوضح قيم معامل يونك الانحنائي لللايوكسي المدعم بدقائق السليكا النانوية والكرافين النانوية.

الجدول (4-4): قيم معامل يونك الانحنائي لللايوكسي المدعم بالسليكا النانوية والكرافين النانوي.

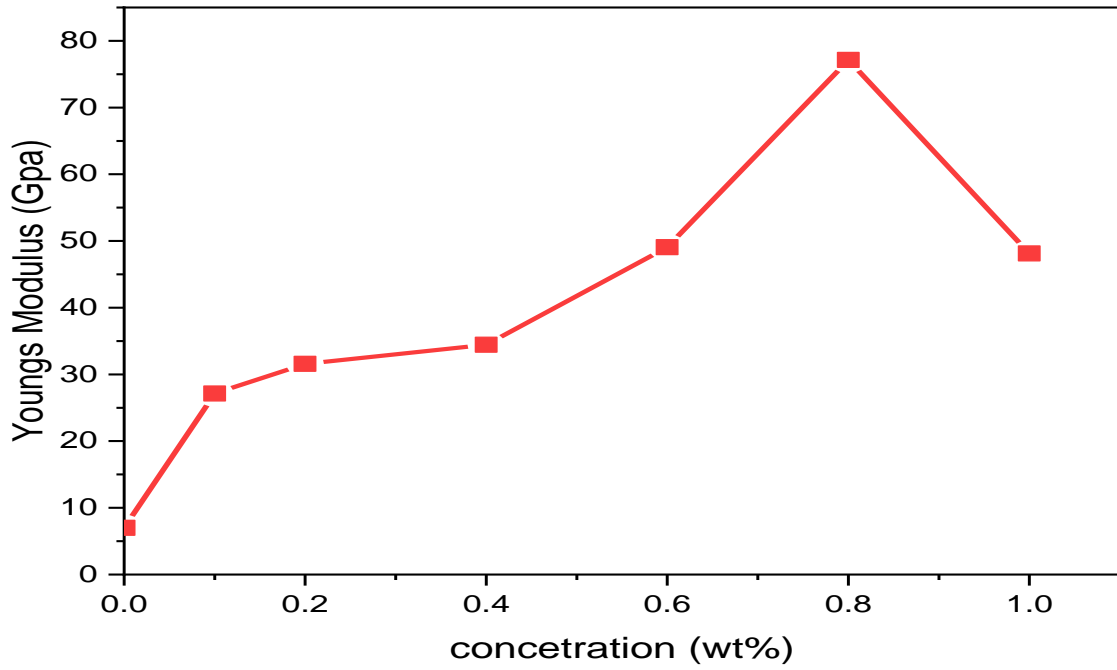
Concentration wt%	Young's Modulus GPa	Concentration wt%	Young's Modulus GPa	Concentration wt%	Young's Modulus GPa
Ep	7	Ep	7	Ep	7
SiO ₂ (0.1)	10.34	GNP0.1	20.4	(SiO ₂ +GNP)0.1	27.13
SiO ₂ (0.2)	10.44	GNP0.2	31.2	(SiO ₂ +GNP)0.2	31.58
SiO ₂ (0.4)	10.79	GNP0.4	33.44	(SiO ₂ +GNP)0.4	34.45
SiO ₂ (0.6)	11	GNP0.6	34.08	(SiO ₂ +GNP)0.6	49.06
SiO ₂ (0.8)	15.79	GNP0.8	38.8	(SiO ₂ +GNP)0.8	77.125
SiO ₂ (1.0)	21.17	GNP1.0	39.06	(SiO ₂ +GNP)1.0	48.12



الشكل (4-10): معامل يونك الانحنائي لللايوكسي المدعم بدقائق السليكا النانوية.



الشكل (4-11): قيم معامل يونك الانحنائي للايبوكسي المدعم بالكربون النانوي.



الشكل (4-12): قيم معامل يونك الانحنائي للايبوكسي المدعم بالسليكا النانوية و الكربون النانوي.

Thermal properties

(3-4) الخصائص الحرارية

Thermal conductiv

(1-3-4) التوصيلية الحرارية

تعتمد التوصيلية الحرارية في البوليمرات على عدة عوامل هي نوعية الجزيئات والحجم البلوري ودرجة النقاوة وتحدد التوصيلية الحرارية فيها بالاهتزازات الهيكلية وهذا السبب الذي يجعل من المواد البوليمرية رديئة التوصيل للحرارة [85]. إذ ان عملية انتقال الحرارة تحدث خلال طبقة الايبوكسي وبعد التدعيم بالدقائق (SiO_2, GNP) النانوية تحدث خلال السطح البيني وتم حساب معامل التوصيل الحراري للعينات المحضرة من مادة الايبوكسي قبل وبعد التدعيم بالدقائق (SiO_2, GNP) النانوية وبنسب مختلفة وباستخدام قرص لي.

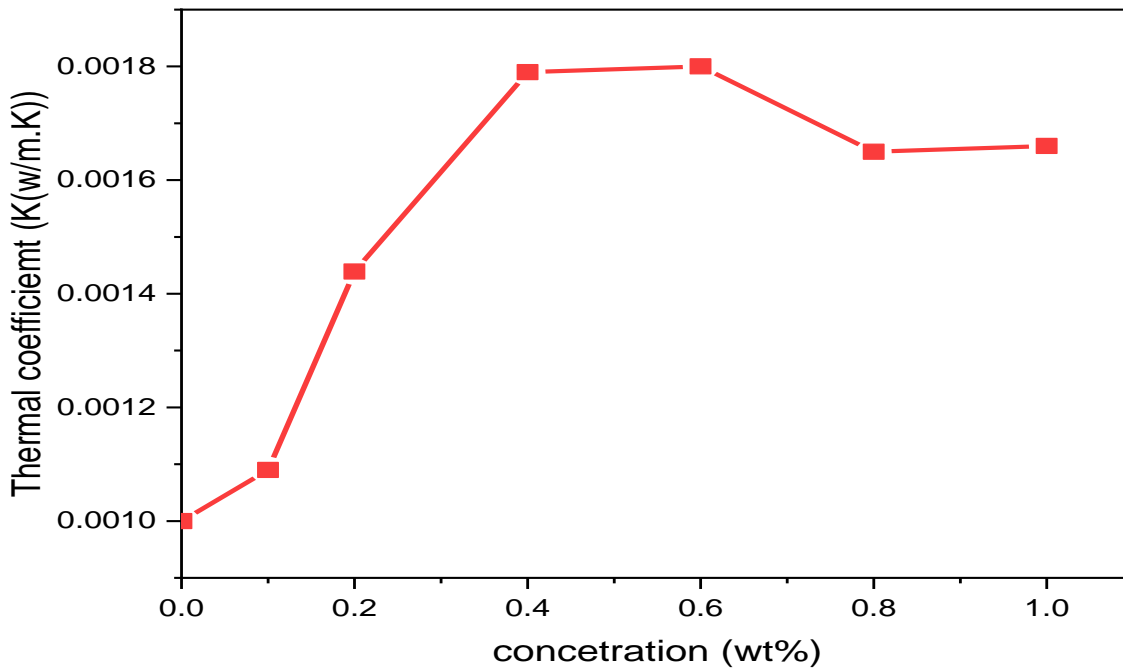
1- فحص التوصيلية الحرارية لعينات الايبوكسي النقي والمدعم بالدقائق (SiO_2, GNP) النانوية.

تم حساب معامل التوصيل الحراري للايبوكسي النقي والمدعم بالدقائق (SiO_2, GNP) النانوية باستخدام طريقة (Lees Disk method) ومن خلال الاشكال (4-13) و(4-14) و(4-15) نلاحظ ان معامل التوصيل الحراري للايبوكسي النقي قد يزداد بشكل ملحوظ عند التدعيم بالدقائق النانوية وتستمر الزيادة الطفيفة بازدياد تركيز المادة المدعمة (SiO_2) النانوية لكون التوصيلية الحرارية للمادة المدعمة اعلى من التوصيلية الحرارية للمادة الاساس ويعود سبب الزيادة في معامل التوصيل الحراري عند اضافة مادة التدعيم لكون مادة التدعيم تمتلك بنية بلورية تنتظم فيها البلورات على شكل شبكية بلورية ثلاثية الابعاد اما في المواد البوليمرية فتكون البنية البلورية عشوائية وترتبط فيها السلاسل بشكل مستعرض وغير نظامي هذا الامر ادى الى تقليل احتمالية التشنت للفونونات في عدة تركيبات او بناءات معقدة مما ادى الى زيادة التوصيلية الحرارية للمادة المتراكبة [86]. اما النقصان الطفيف في التوصيلية الحرارية عند اضافة مادة التدعيم عند التركيز (1%, 0.8) سببها الاهتزازات الهيكلية للراتنج تبدأ بالانخفاض عند زيادة تركيز دقائق السليكا النانوية الى راتنج الايبوكسي والتي تعمل على اعاقه الاهتزازات الهيكلية المسؤولة عن النقل الحراري في الراتنج وبالتالي نقصان في قيمة معامل التوصيل الحراري إذ تزداد نسبة العزل الحراري نتيجة لإعاقه الاهتزازات الهيكلية الداخلية من قبل الدقائق النانوية. وكذلك عند اضافة دقائق السليكا النانوية بسبب انتشارها الغير منتظم داخل المادة المتراكبة بين الطبقات ادى الى تقليل احتمالية التشنت للفونونات بين طبقات المتراكب وظهور مسارات اضافية للدقائق النانوية السيراميكية على وفق الشبكية البلورية لكل مادة نانوية اعتمادا على الشكل البلوري للمادة النانوية وبالتالي نقصان في قيمة معامل التوصيل الحراري [53]. اما عند اضافة مادة التدعيم الاخرى دقائق الكرافين النانوية فسوف نلاحظ زيادة طفيفة في معامل التوصيل الحراري وتستمر هذه الزيادة يعود الى ان دقائق الكرافين النانوية تتمتع

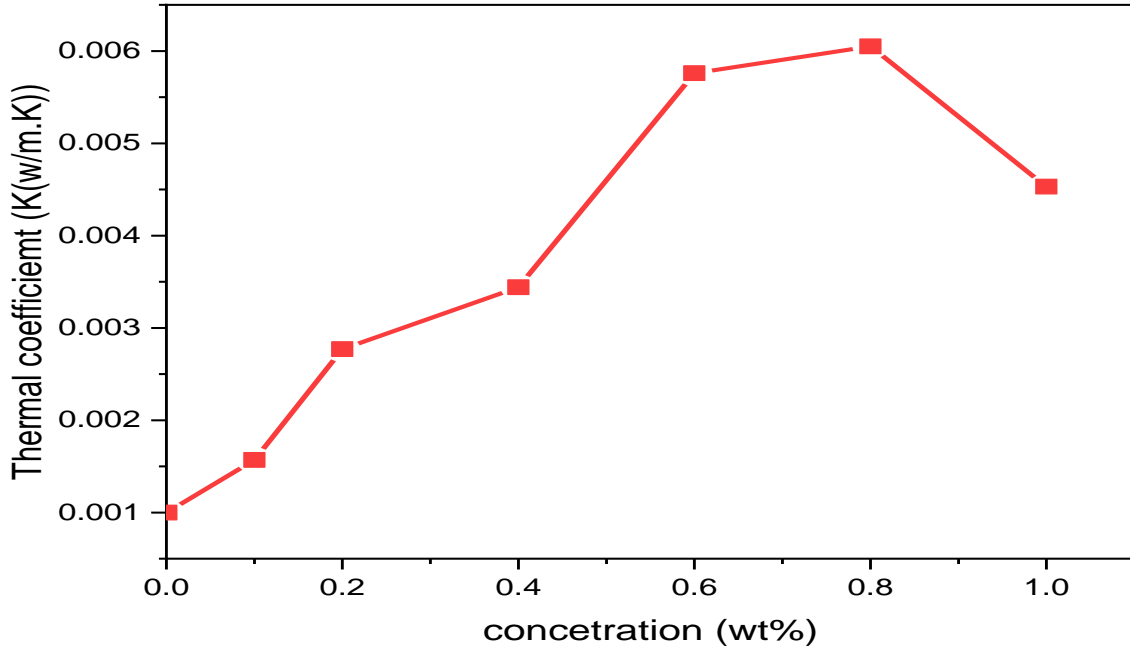
بمساحة سطحية عالية وكذلك تتميز بتداخل الجسيمات النانوية مع بعضها الجدول (4-5) يوضح قيم التوصيلية الحرارية للايبوكسي قبل وبعد التدعيم بدقائق (SiO₂,GNP) النانوية.

الجدول (4-5): قيم التوصيلية الحرارية للايبوكسي المدعم بالسليكا النانوية والكرافين النانوي .

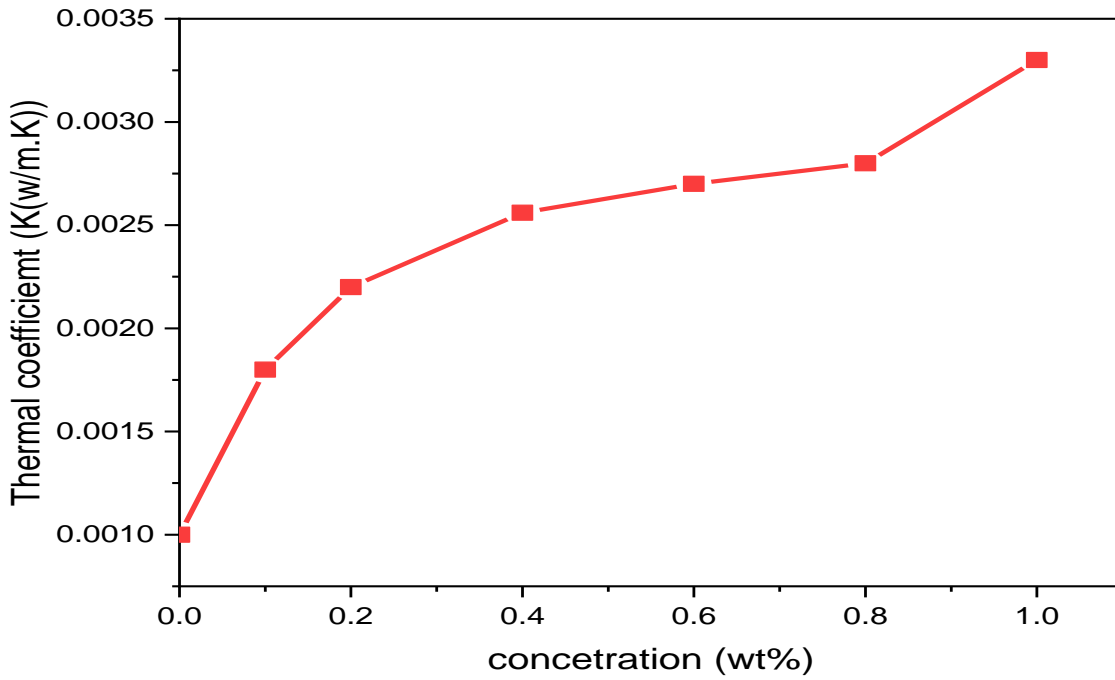
Concentration (wt%)	Thermal coefficient K(w/mK)	Concentration (wt%)	Thermal coefficient K(w/m.K)	Concentration (wt%)	Thermal coefficient K (w/m.K)
Ep	0.001	Ep	0.001	EP	0.001
SiO ₂ (0.1)	0.00109	GNP0.1	0.00157	(SiO ₂ +GNP)0.1	0.0018
SiO ₂ (0.2)	0.001439	GNP0.2	0.00277	(SiO ₂ +GNP)0.2	0.0022
SiO ₂ (0.4)	0.00176	GNP0.4	0.00344	(SiO ₂ +GNP)0.4	0.00256
SiO ₂ (0.6)	0.0018	GNP0.6	0.00576	(SiO ₂ +GNP)0.6	0.0027
SiO ₂ (0.8)	0.00165	GNP0.8	0.00605	(SiO ₂ +GNP)0.8	0.0028
SiO ₂ (1.0)	0.00166	GNP1.0	0.00453	(SiO ₂ +GNP)1.0	0.0033



الشكل (4-13): قيم التوصيلية الحرارية للايبوكسي المدعم بدقائق السليكا النانوية.



الشكل (14-4): قيم التوصيلية الحرارية للايبوكسي المدعم بالكربون النانوية.



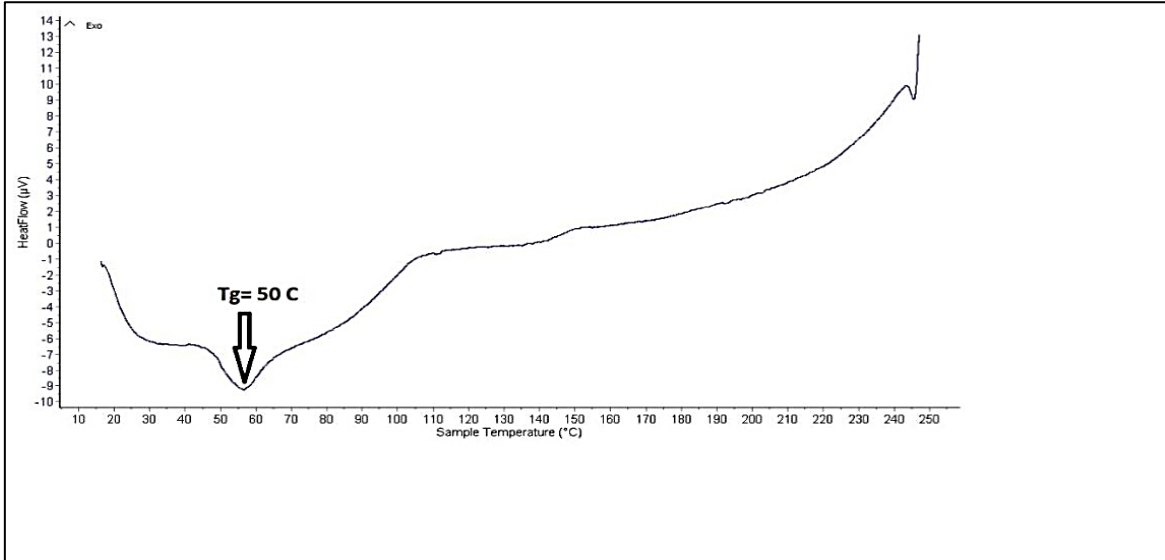
الشكل (15-4): قيم التوصيلية الحرارية للايبوكسي المدعم بالسليكا النانوية و الكربون النانوي.

(2-3-4) درجة الانتقال الزجاجي

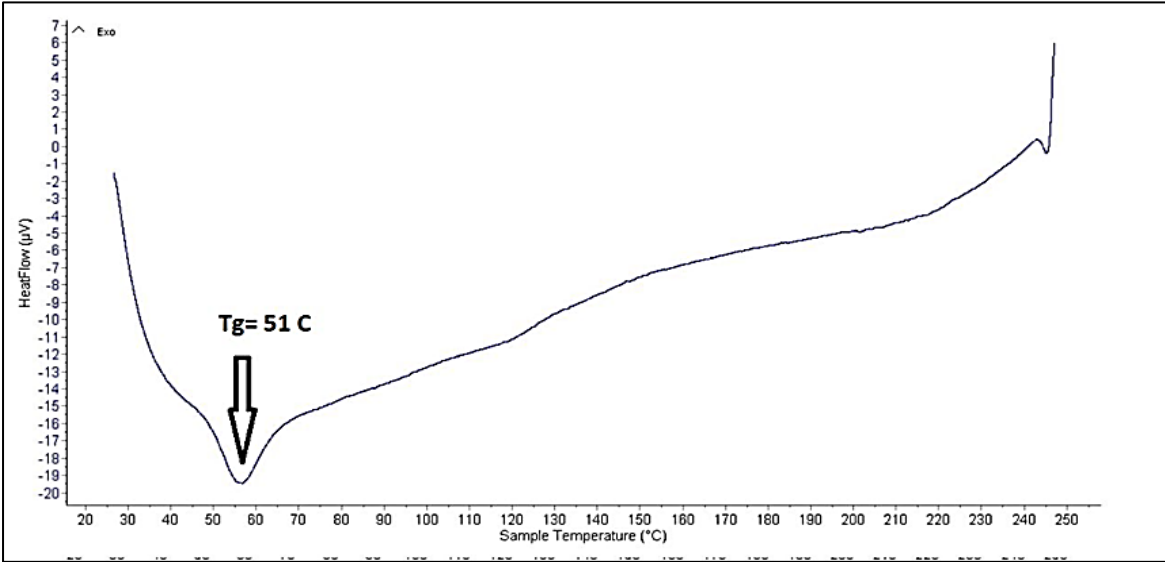
تم حساب درجة الانتقال الزجاجي لمترابكات الايبوكسي النقي والمدعم بدقائق السليكا النانوية وصفائح الكرافين النانوية وبنسب وزنية مختلفة وذلك باستخدام جهاز المسعر الحراري (DSC)، الاشكال (4-16) الى (4-34) تظهر قيم درجة الانتقال الزجاجي للايبوكسي النقي والمدعم بدقائق السليكا النانوية وصفائح الكرافين النانوية، وكما هو موضح في الجدول (4-6) إذ تظهر قيم درجة الانتقال الزجاجي للايبوكسي النقي والتي تكون ($50C^0$) وبعد التدعيم بجسيمات السليكا النانوية وصفائح الكرافين النانوية تزداد درجة الانتقال الزجاجي زيادة غير منتظمة لتبلغ اعلى قيمة عند النسبة (0.8wt%) وهي ($55, 58, 59 C^0$) وهذه الزيادة في درجة الانتقال الزجاجي تعود الى تأثير سلاسل البوليمر أو قوى فاندرفالز المتكونة بسبب الترابط بين مادة التدعيم والمادة الأساس [87]. وهذا يوضح تحول المادة من حالة الاكثر مرونة الى الاقل مرونة، ونتيجة زيادة الترابط بين المادة الاساس ومادة التدعيم يزداد معدل الوزن الجزيئي ونتيجة هذه الزيادة تحصل اعاقا في حركة السلاسل البوليمرية، وذلك لأنها انها تحتاج الى طاقة كبيرة لتحريك المجاميع الجزيئية وبالتالي تؤدي الى زيادة درجة حرارة الانتقال الزجاجي [88]. والجدول (4-6) يوضح قيم درجة حرارة الانتقال الزجاجي لمترابك الايبوكسي النقي والمدعم بجسيمات السليكا النانوية وصفائح الكرافين النانوية.

الجدول (4-6) : قيم درجة الانتقال الزجاجي للايبوكسي المدعم بالسليكا النانوية و الكرافين النانوي.

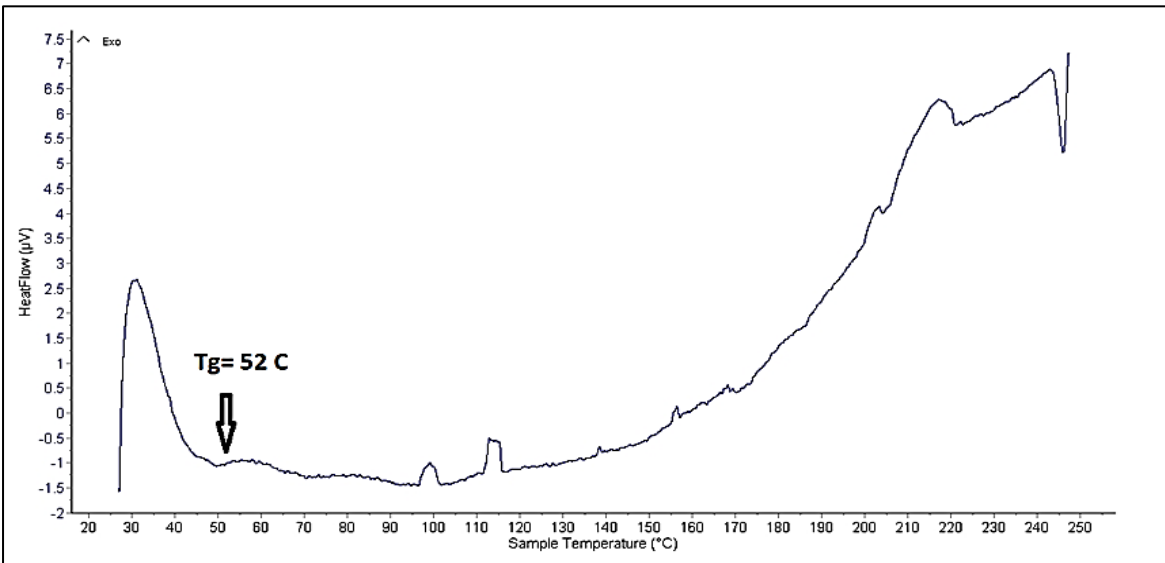
Concentration (wt%)	Tg C°	Concentration (wt%)	Tg C°	Concentration (wt%)	Tg C°
Ep	50	Ep	50	EP	50
SiO ₂ (0.1)	51	GNP0.1	51	(SiO ₂ +GNP)0.1	52
SiO ₂ (0.2)	52	GNP0.2	54	(SiO ₂ +GNP)0.2	53
SiO ₂ (0.4)	53	GNP0.4	55	(SiO ₂ +GNP)0.4	55.5
SiO ₂ (0.6)	55	GNP0.6	55.5	(SiO ₂ +GNP)0.6	56
SiO ₂ (0.8)	57	GNP0.8	58	(SiO ₂ +GNP)0.8	59
SiO ₂ (1.0)	56	GNP1.0	57	(SiO ₂ +GNP)1.0	57



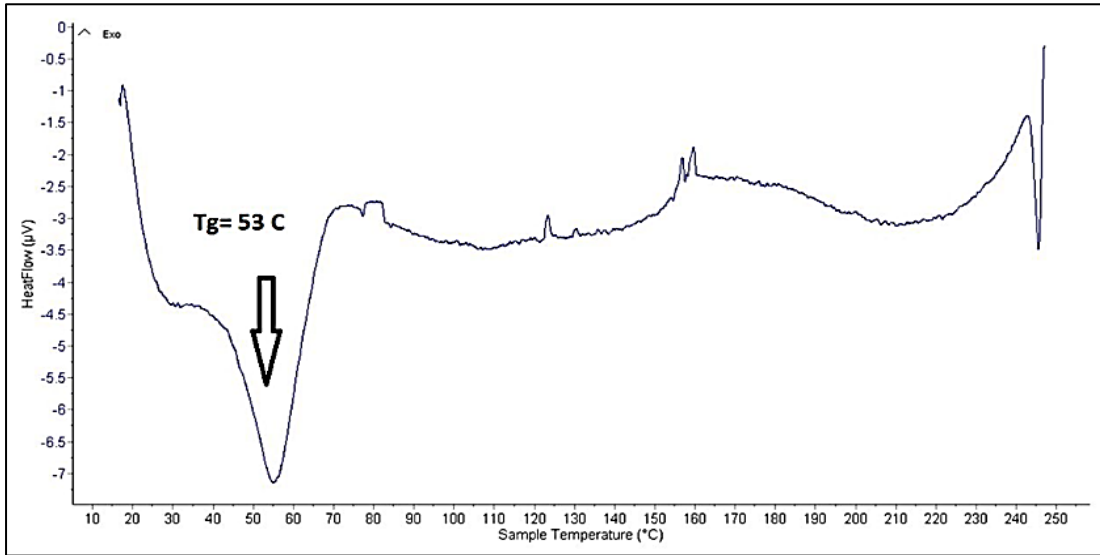
الشكل (16-4): مخطط (DSC) الحراري للبايوكسي النقي.



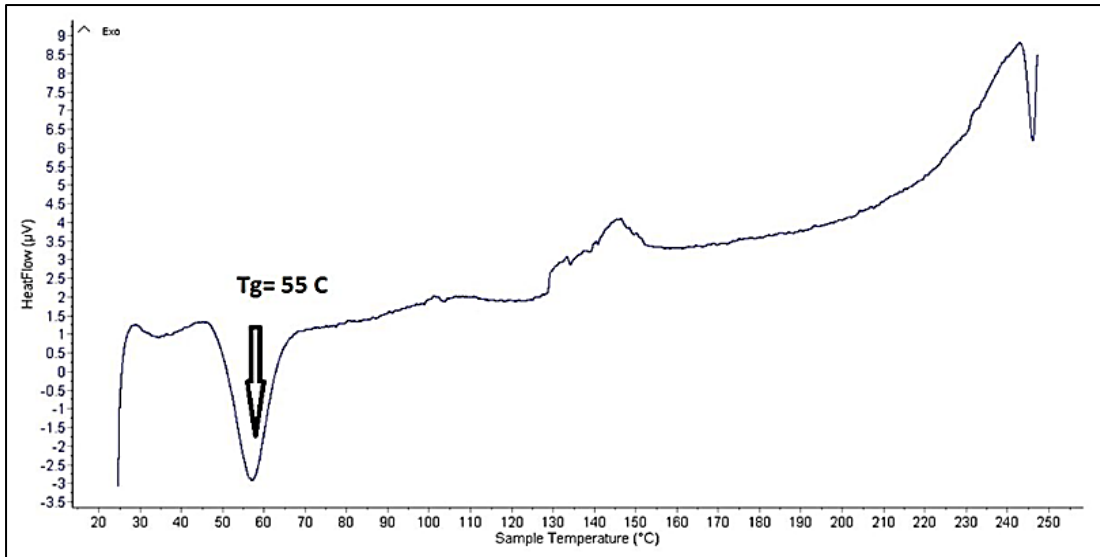
الشكل (17-4): مخطط (DSC) الحراري للبايوكسي المدعم (SiO₂ 0.1wt%) النانوي.



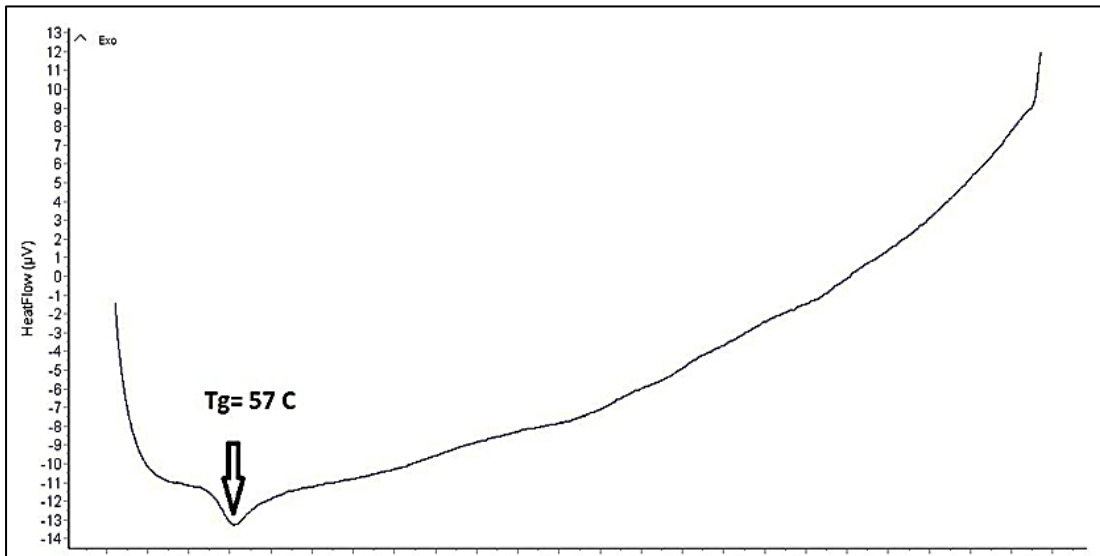
شكل (18-4): مخطط (DSC) الحراري للبايوكسي المدعم (SiO₂ 0.2wt%) النانوية.



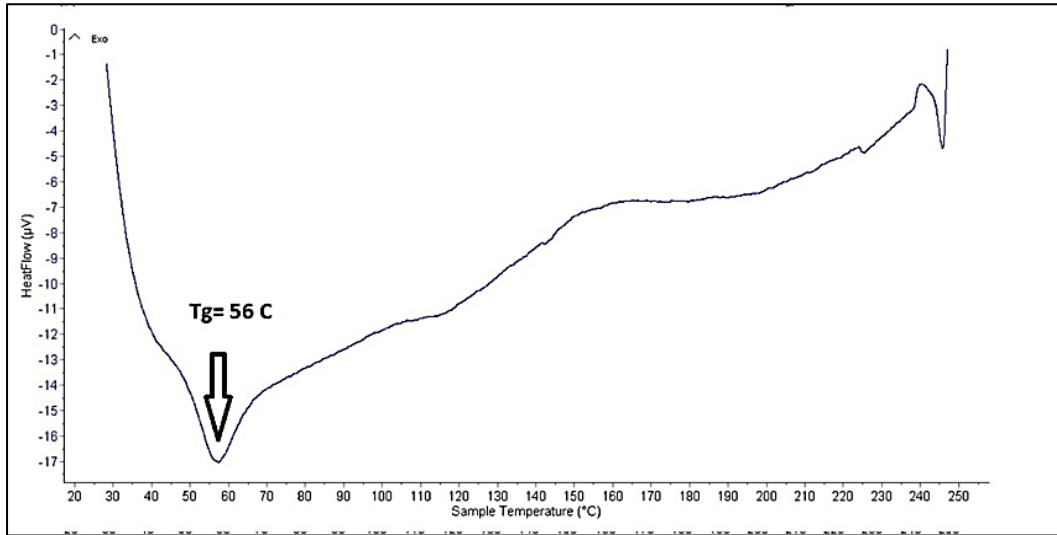
الشكل (19-4): مخطط (DSC) الحراري لللايوكسي المدعم (SiO₂ 0.4wt%) النانوية.



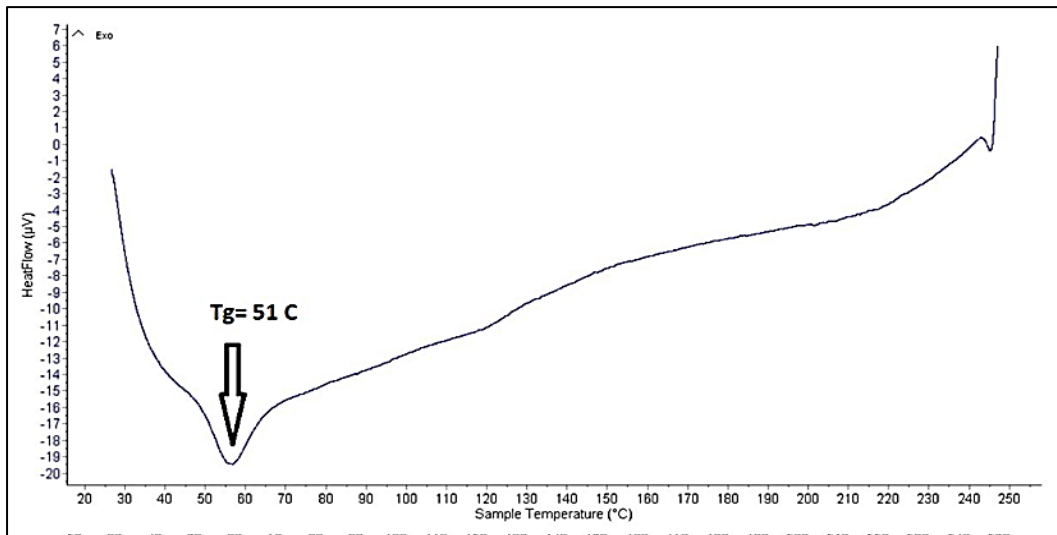
الشكل (20-4): مخطط (DSC) الحراري لللايوكسي المدعم (SiO₂ 0.6wt%) النانوية.



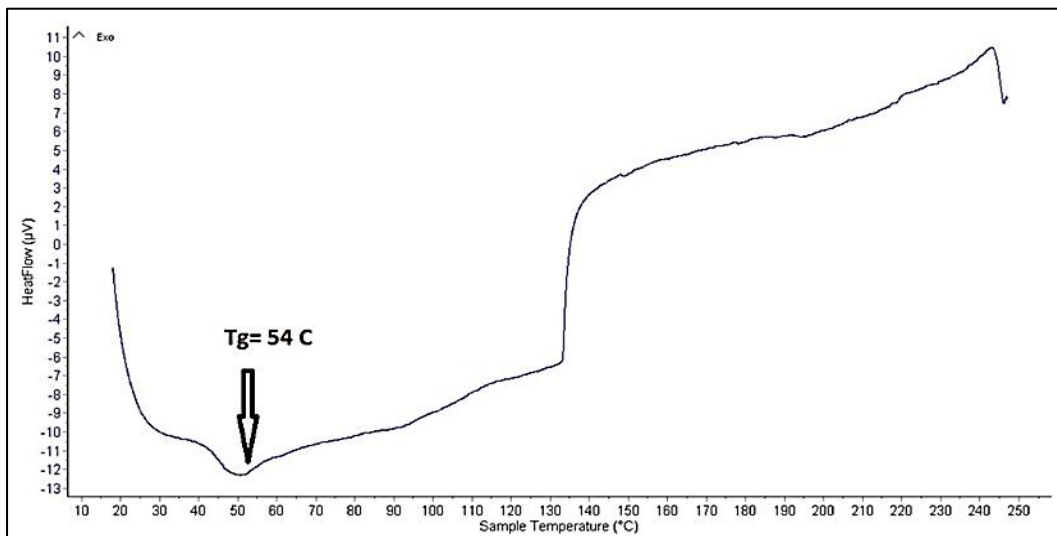
الشكل (21-4): مخطط (DSC) الحراري لللايوكسي المدعم (SiO₂ 0.8wt%) النانوية.



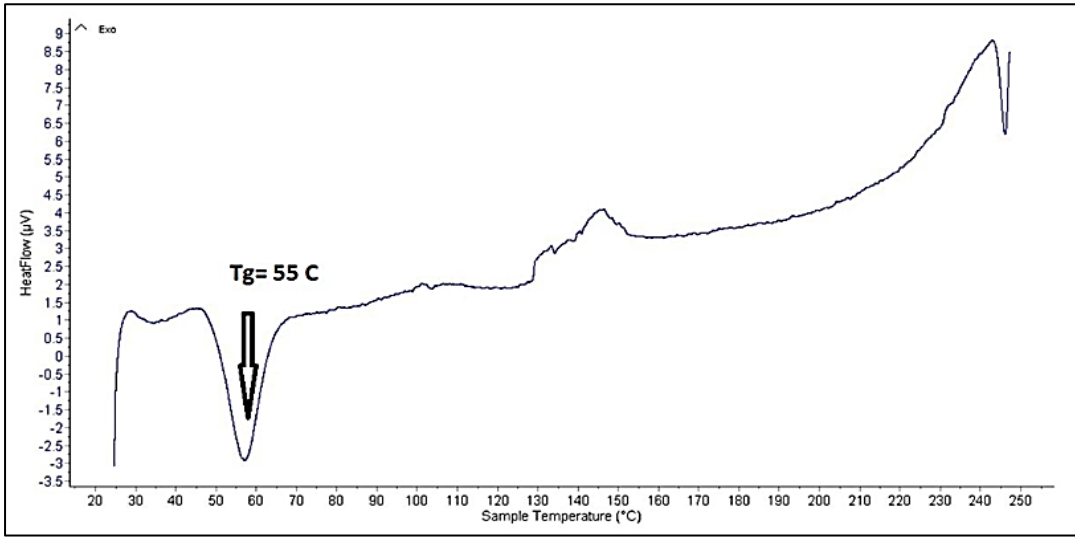
الشكل (22-4): مخطط (DSC) الحراري للايوكسي المدعم (SiO₂ 1wt%) النانوية.



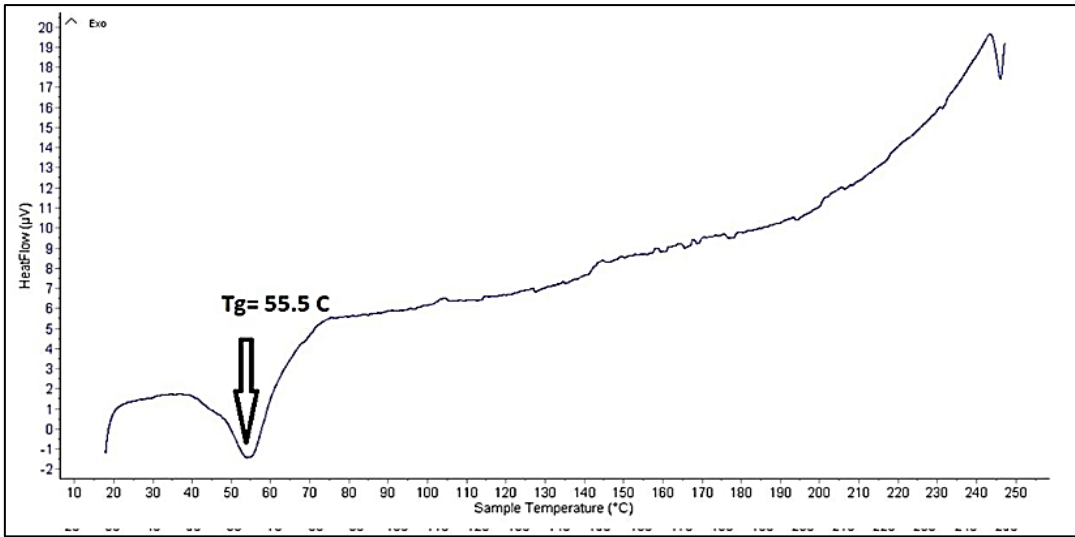
الشكل (23-4): مخطط (DSC) الحراري للايوكسي المدعم (GNP 0.1wt%) النانوية.



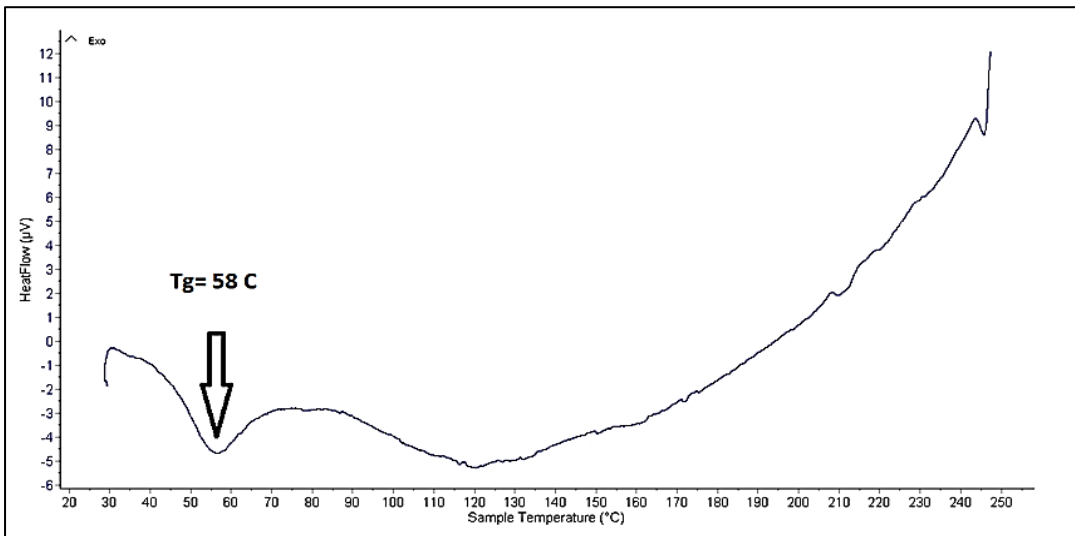
الشكل (24-4): مخطط (DSC) الحراري للايوكسي المدعم (GNP 0.2wt%) النانوية.



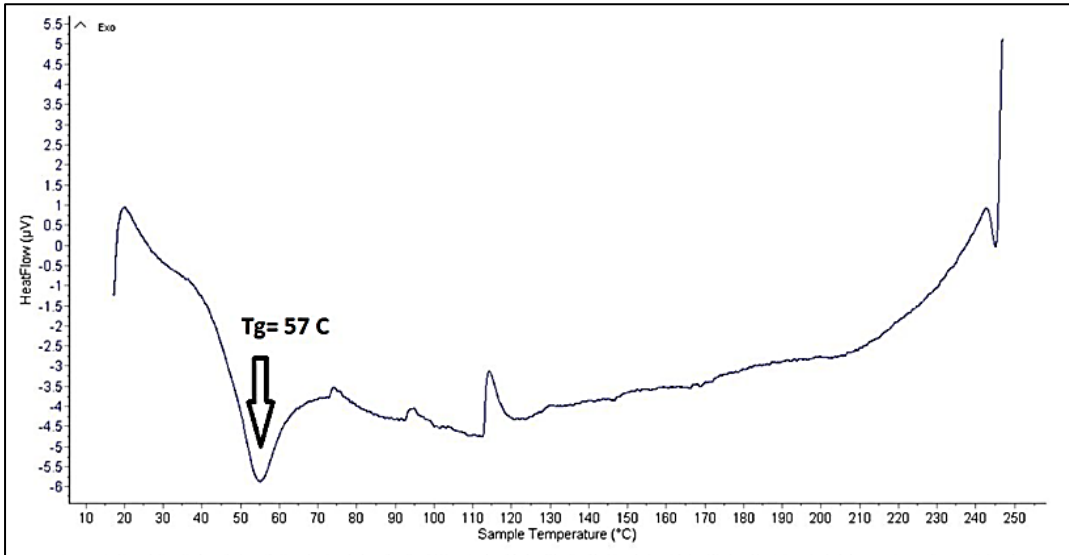
الشكل (25-4): مخطط (DSC) الحراري للايوكسي المدعم (GNP 0.4wt %) النانوية.



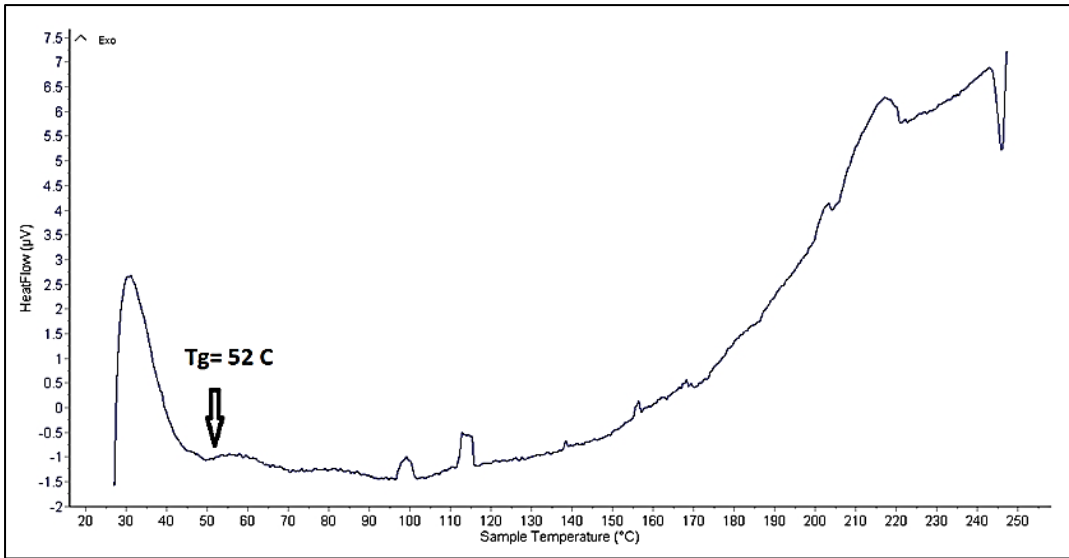
الشكل (26-4): مخطط (DSC) الحراري للايوكسي المدعم (GNP 0.6wt %) النانوية.



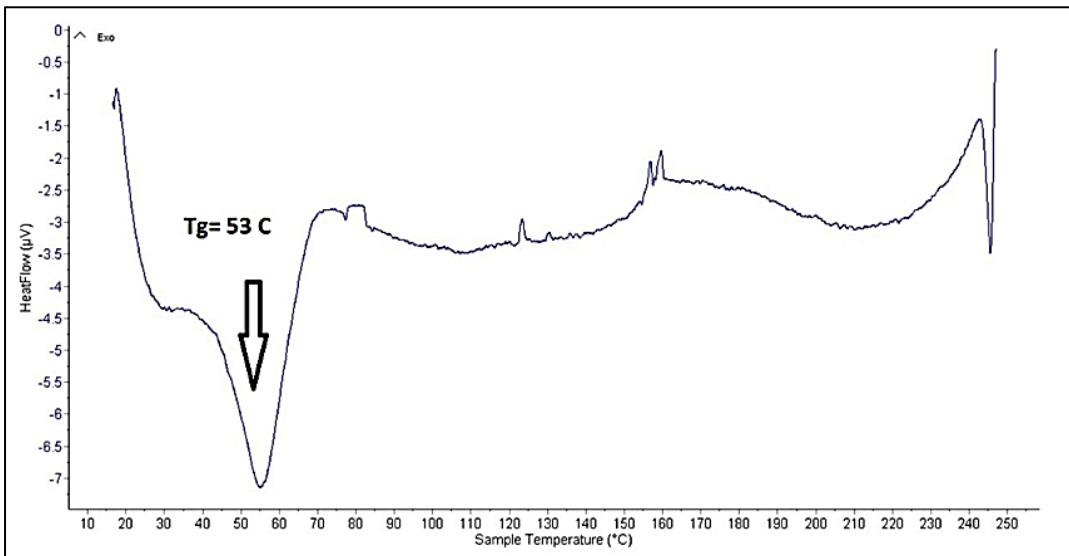
الشكل (27-4): مخطط (DSC) الحراري للايوكسي المدعم (GNP 0.8wt %) النانوية.



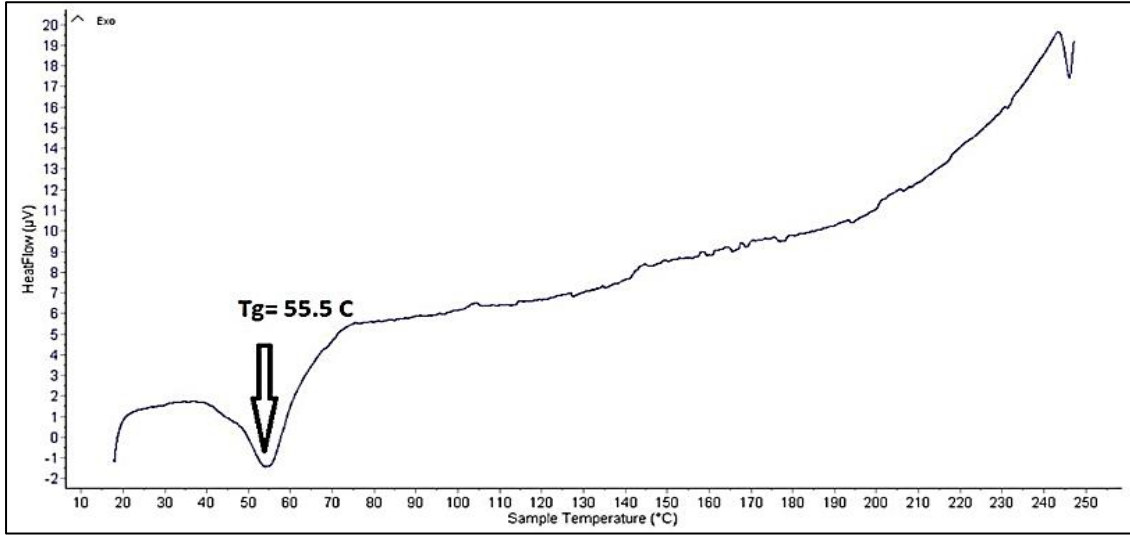
الشكل (28-4): مخطط (DSC) الحراري لللايوكسي المدعم (GNP 1wt %) النانوية.



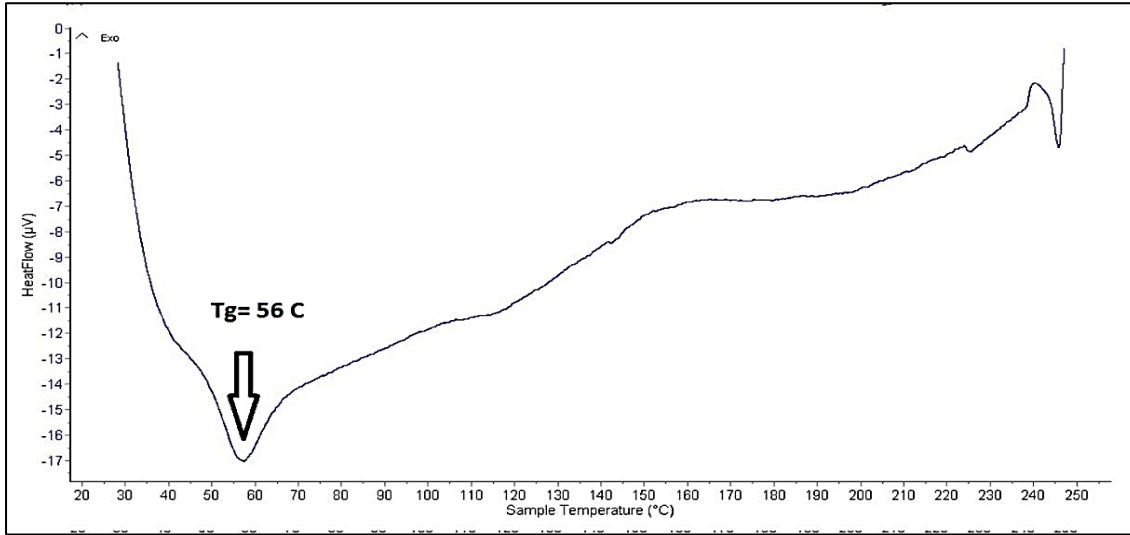
الشكل (29-4): مخطط (DSC) الحراري لللايوكسي المدعم (SiO₂+GNP 0.1wt%) النانوية .



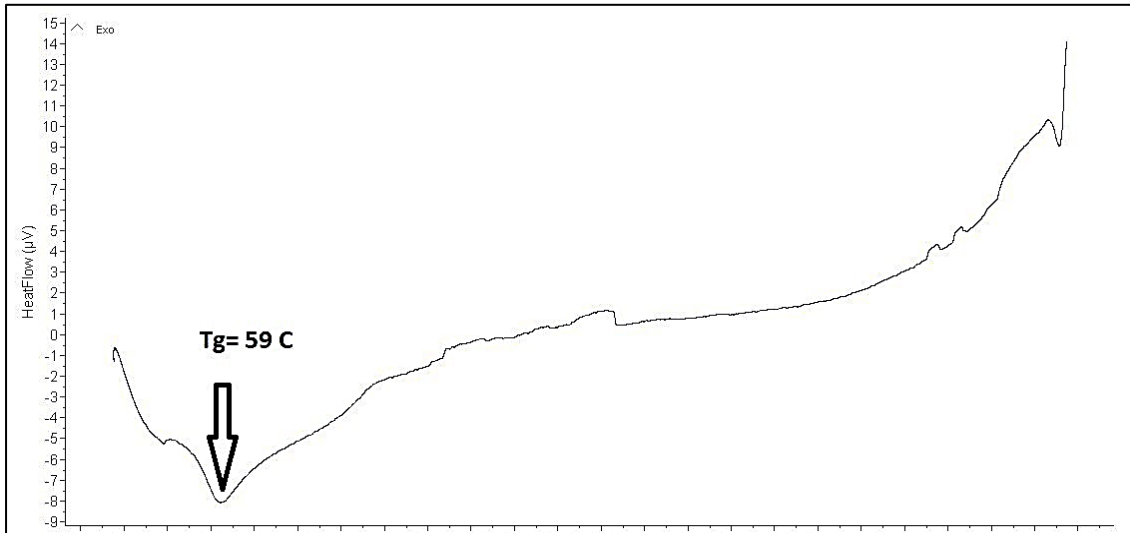
الشكل (30-4): مخطط (DSC) الحراري لللايوكسي المدعم (SiO₂+GNP 0.2 %) النانوية .



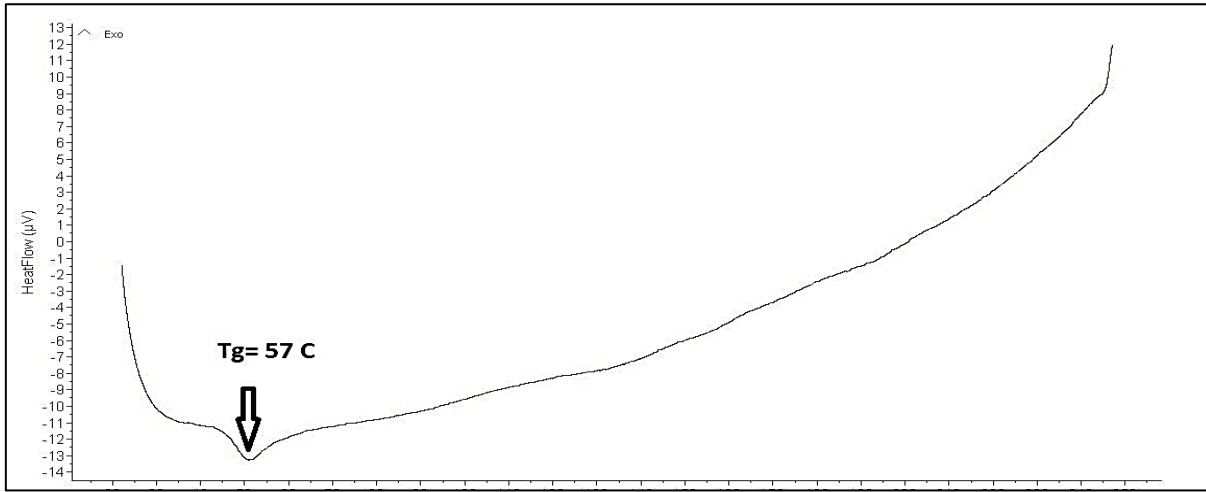
الشكل (31-4): مخطط (DSC) الحراري للايوكسي المدعم (SiO₂+GNP 0.4wt %) النانوية .



الشكل (32-4): مخطط (DSC) الحراري للايوكسي المدعم (SiO₂+GNP 0.6wt %) النانوية.



الشكل (33-4): مخطط (DSC) الحراري للايوكسي المدعم (SiO₂+GNP 0.8wt %) النانوية.



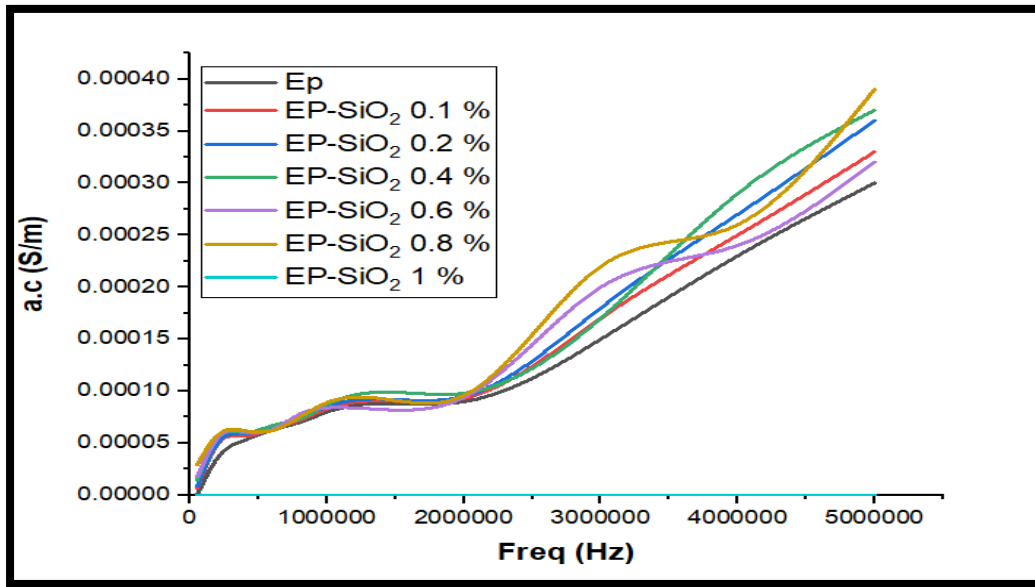
الشكل (34-4): مخطط (DSC) الحراري لللايبوكسي المدعم (SiO₂+GNP1wt%) النانوية .

Electrical Alternete Conductivity (A.C) التوصيلية الكهربائية المتناوبة (4-4)

التوصيلية الكهربائية المتناوبة يمكن تعريفها بأنها دالة للتردد. إذ تم حسابها لللايبوكسي النقي المدعم بجسيمات السليكا النانوية وصفائح الكرافين النانوية وبنسب مختلفة (0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1 wt%) وضمن مدى التردد (50Hz-5Mhz) اذ نلاحظ من خلال الاشكال (35-4) و(36-4) و(37-4) بأن التوصيلية الكهربائية المتناوبة تزداد بشكل ملحوظ مع زيادة التردد وان هذه الزيادة في التوصيلية الكهربائية المتناوبة بسبب ذبذبة المجال الكهربائي مع زيادة التردد والذي سوف يؤدي الى زيادة الاستقطاب في العينة وهذا يظهر في زيادة التوصيلية الكهربائية المتناوبة، وان التوصيلية الكهربائية المتناوبة تنشأ من الانتقال السريع بين مواقع الانواع المختلفة كالألكترونات أو ثنائيات الاقطاب [89]. ومما يجدر الاشارة اليه أنّ التوصيلية الكهربائية المتناوبة في العازل هي مقدار القدرة المفقودة عند تسليط مجال كهربائي متناوب والتي تظهر بشكل حرارة عند دوران ثنائيات الاقطاب في مواضعها واهتزاز الشحنات بتغير المجال الكهربائي المتناوب ولهذا تعتمد على التردد [90] . ومن خلال الاشكال ايضا نلاحظ أنّ قيمة التوصيلية الكهربائية المتناوبة عند نفس التردد تزداد بزيادة النسبة الوزنية لمواد التدعيم وبصورة عامة فإن هذه الزيادة في قيمة التوصيلية الكهربائية المتناوبة يعزى الى نقصان مقاومة العازل نتيجة زيادة الجزيئات الموصلة في المترابك ونلاحظ أنّ التوصيلية الكهربائية للمترابك المدعم بصفائح الكرافين اكبر من التوصيلية الكهربائية للمترابك المدعم بدقائق السليكا النانوية ويعود سبب ذلك الى كون الكرافين يتمتع بتوصيلية كهربائية أعلى من جسيمات السليكا النانوية. والجدول (7-4) (8-4) (9-4) يوضح قيم التوصيلية الكهربائية لللايبوكسي المدعم بجسيمات السليكا النانوية وصفائح الكرافين النانوية.

الجدول (7-4): قيم التوصيلية الكهربائية المتناوبة للايوكسي المدعم بالسليكا النانوية.

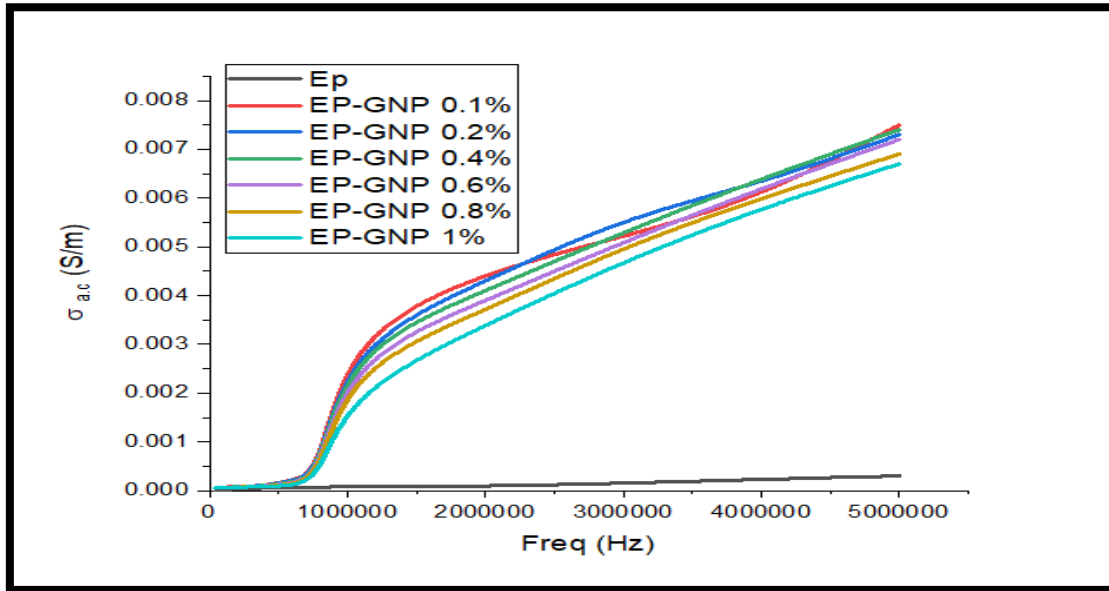
Freq Hz	σ_{ac} EP	σ_{ac} 0.1%	σ_{ac} 0.2%	σ_{ac} 0.4%	σ_{ac} 0.6%	σ_{ac} 0.8%	σ_{ac} 1%
5E4	4.5E-12	2.9E-5	1.8E-5	1.5E-5	8.6E-6	6.8E-6	1E-7
2E5	5.42E-11	5.8E-5	5.5E-5	5.5E-5	5.01E-5	4.9E-5	3.6E-5
4E5	5.68E-11	6.2E-5	6.1E-5	6E-5	5.9E-5	5.7E-5	5.3E-5
6E5	6.55E-11	6.2E-5	6.3E-5	6.7E-5	6.6E-5	6.4E-5	6.3E-5
8E5	8.94E-11	7.5E-5	7.8E-5	7.3E-5	7.4E-5	7.2E-5	7E-5
1E6	2E-10	8.9E-5	8.4E-5	8.7E-5	8.5E-5	8.3E-5	8E-5
2E6	5.4E-10	9.6E-5	9.4E-5	9.8E-5	9.5E-5	9.3E-5	9E-5
3E6	9.7E-10	2.2E-4	2E-4	1.7E-4	1.8E-4	1.7E-4	1.5E-4
4E6	4.3E-9	2.6E-4	2.4E-4	2.9E-4	2.7E-4	2.5E-4	2.3E-4
5E6	6.2E-9	3.9E-4	3.2E-4	3.7E-4	3.6E-4	3.3E-4	3E-4



الشكل (35-4): التوصيلية الكهربائية المتناوبة للايوكسي المدعم بدقائق السليكا النانوية.

الجدول (8-4): قيم التوصيلية الكهربائية المتناوبة للايوكسي المدعم بالكرافين النانوي.

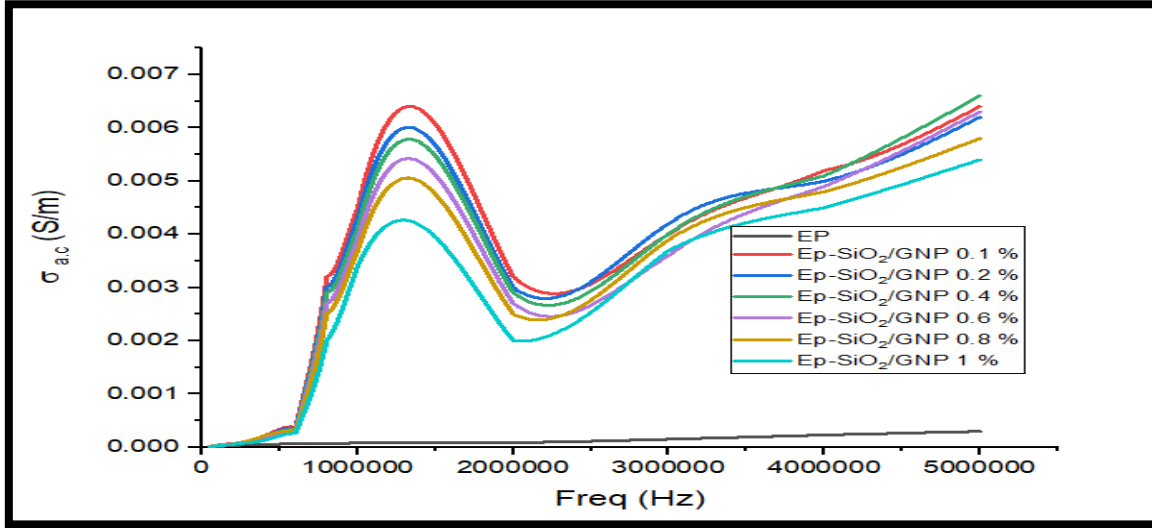
Freq Hz	α_{ac} EP	α_{ac} 0.1%	α_{ac} 0.2%	α_{ac} 0.4%	α_{ac} 0.6%	α_{ac} 0.8%	α_{ac} 1%
5E4	4.5E-12	5.1E-5	5.6E-5	5.8E-5	6.3E-5	6.01E-5	6.4E-5
2E5	5.42E-11	6.8E-5	7.01E-5	7.3E-5	7.7E-5	7.9E-5	8.2E-5
4E5	5.68E-11	8.4E-5	8.8E-5	9.01E-5	9.3E-5	9.6E-5	9.9E-5
6E5	6.55E-11	1.02E-4	1.3E-4	1.5E-4	1.7E-4	2.02E-4	2.2E-4
8E5	8.94E-11	2.6E-4	2.9E-4	3.1E-4	3.3E-4	3.5E-4	3.7E-4
1E6	2E-10	2E-3	2.5E-3	2.7E-3	2.9E-3	3E-3	3.2E-3
2E6	5.4E-10	3.4E-3	3.7E-3	3.9E-3	4.1E-3	4.3E-3	4.5E-3
3E6	9.7E-10	4.7E-3	5E-3	5.1E-3	5.3E-3	5.6E-3	5.2E-3
4E6	4.3E-9	5.8E-3	6E-3	6.2E-3	6.4E-3	6.3E-3	6.01E-3
5E6	6.2E-9	6.7E-3	6.9E-3	7.2E-3	7.4E-3	7.3E-3	7.5E-3



الشكل (4-36): قيم التوصيلية الكهربائية للابوكسي المدعم بالكرافين النانوية.

الجدول (4-9): قيم التوصيلية الكهربائية المتناوبة للابوكسي المدعم بالسليكا النانوية و الكرافين النانوي.

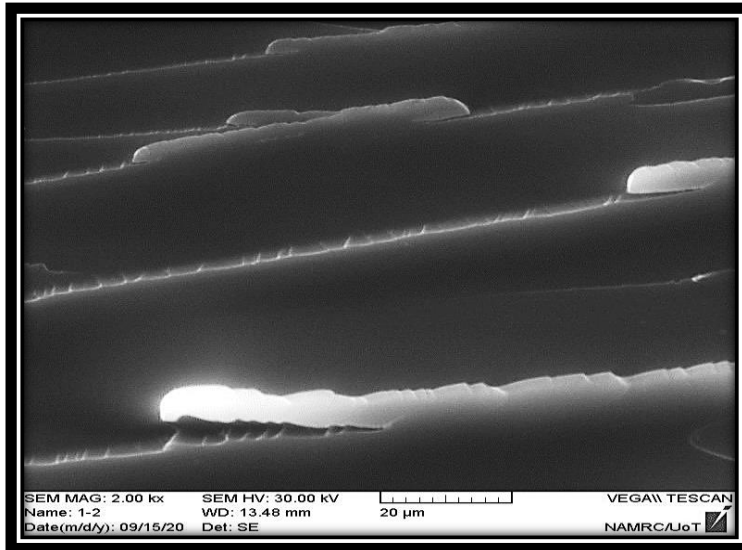
Freq Hz	Aac EP	α_{ac} 0.1%	α_{ac} 0.2%	α_{ac} 0.4%	α_{ac} 0.6%	α_{ac} 0.8%	α_{ac} 1%
5E4	4.5E-12	1.3E-5	1.5E-5	1.7E-5	1.2E-5	1.4E-5	1.9E-5
2E5	5.42E-11	5.5E-5	5.8E-5	5.9E-5	6.2E-5	6.4E-5	6.7E-5
4E5	5.68E-11	1.3E-4	2.2E-4	1.5E-4	1.7E-4	2.02E-4	2.2E-4
6E5	6.55E-11	2.6E-4	2.9E-4	3.1E-4	3.3E-4	3.5E-4	3.7E-4
8E5	8.94E-11	2E-3	2.5E-3	2.7E-3	2.9E-3	3E-3	3.2E-3
1E6	2E-10	3.4E-3	3.7E-3	3.9E-3	4.1E-3	4.3E-3	4.5E-3
2E6	5.4E-10	2E-3	2.5E-3	2.7E-3	2.9E-3	3E-3	3.2E-3
3E6	9.7E-10	3.7E-3	3.9E-3	3.6E-3	4.01E-3	4.2E-3	4E-3
4E6	4.3E-9	4.5E-3	4.8E-3	4.9E-3	5.1E-3	5E-3	5.2E-3
5E6	6.2E-9	5.4E-3	5.8E-3	6.3E-3	6.6E-3	6.2E-3	6.4E-3



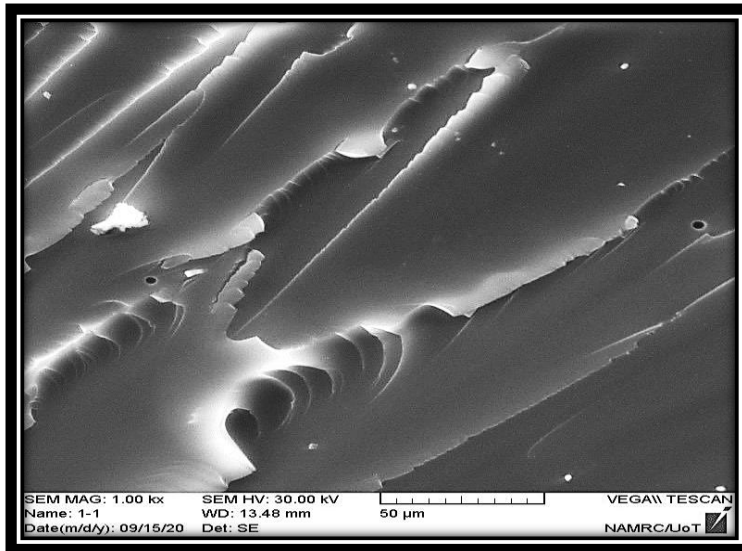
الشكل (4-37): قيم التوصيلية الكهربائية المتناوبة للايوكسي المدعم بالسليكا النانوية والكرافين النانوي.

(5-4) المجهر الالكتروني الماسح Scanning electron microscopy

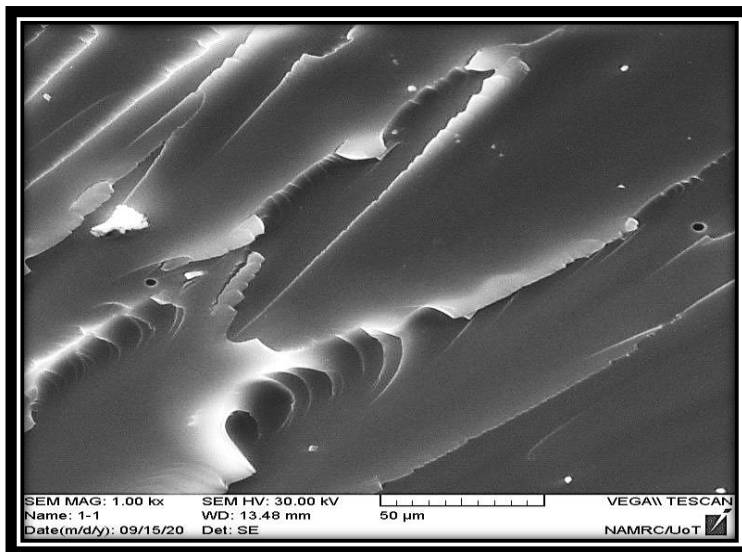
تم استخدام المجهر الالكتروني الماسح لتوضيح شكل سطح الكسر لعينات المترابكات النانوية بدقة أعلى وتوضح الاشكال من (4-38) الى (4-44) سطح الكسر للايوكسي النقي و (0.1%, 0.8%) من المركبات النانوية (Ep/SiO₂ و Ep/GNP) على التوالي. وتظهر الصور المجهرية للايوكسي النقي في الشكل (4-38) شكل الكسر للايوكسي النقي الذي يكون املساً نسبياً ويسلك سلوك كسر هش و يصبح سطح الكسر اكثر خشونة وتصبح التصدعات اكثر عشوائية عند وجود نسبة وزنية معينة من مواد التدعيم (SiO₂) لأن إضافة الجسيمات النانوية يؤدي الى تحسين الصلادة ومقاومة الخدش وبالتالي تحسين الخواص الميكانيكية للايوكسي ويرجع هذا السلوك الى توسع الشقوق الدقيقة التي يتم تشكيلها بواسطة تركيز الاجهاد مما يؤدي الى تحسين قوة المترابكات النانوية كما موضح في الشكلين (4-39) و (4-40) [91]. كما يوضح الشكلين (4-41) و (4-42) سطح الكسر للايوكسي المدعم بصفائح الكرافين النانوية (0.1%, 0.8% Ep/GNP) حيث توضح ان زيادة سطح الكسر ينتج عنه تشتت متجانس في مصفوفة الايوكسي مما يؤدي الى تكثف وتشكل تكتلات صغيرة حيث يؤدي الحجم الى تقليل قوة المترابكات النانوية، لأن الكتل الدقيقة لها تأثير سلبي على نقل الاجهاد من مصفوفة الايوكسي وبشكل عام أدت إضافة المواد النانوية الى مصفوفة الايوكسي الى زيادة خشونة سطح الكسر مما أدى الى تحسين الخواص الميكانيكية للمترابكات النانوية و أظهرت نتائج فحص (SEM) للايوكسي المعزز بالكرافين لديها مقاومة عالية افضل من الايوكسي المعزز بالسليكا وان الجسيمات النانوية الهجينة اي المدعمة بصفائح الكرافين النانوية وجسيمات السليكا النانوية لديها صلابة افضل ومقاومة للخدش عالية كما موضح في الشكلين (4-43) و (4-44).



(أ)

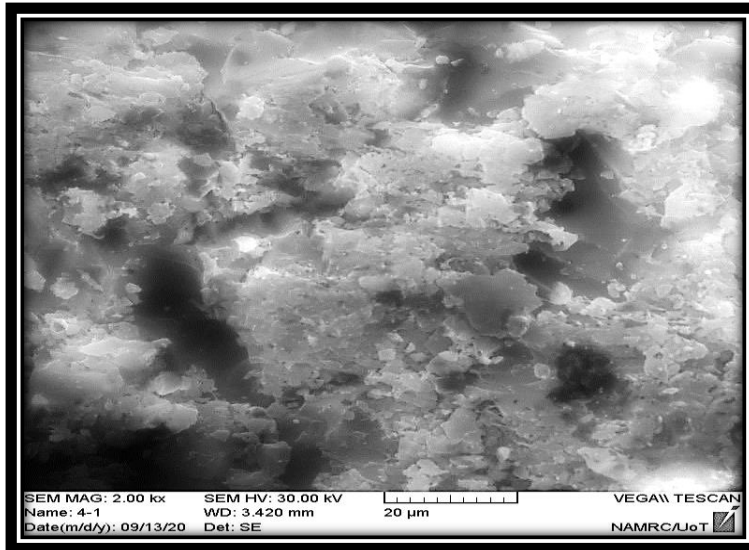


(ب)

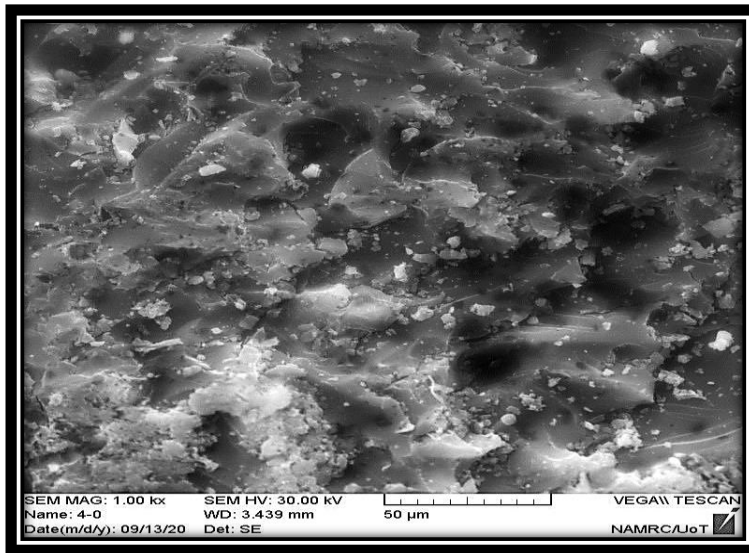


(ج)

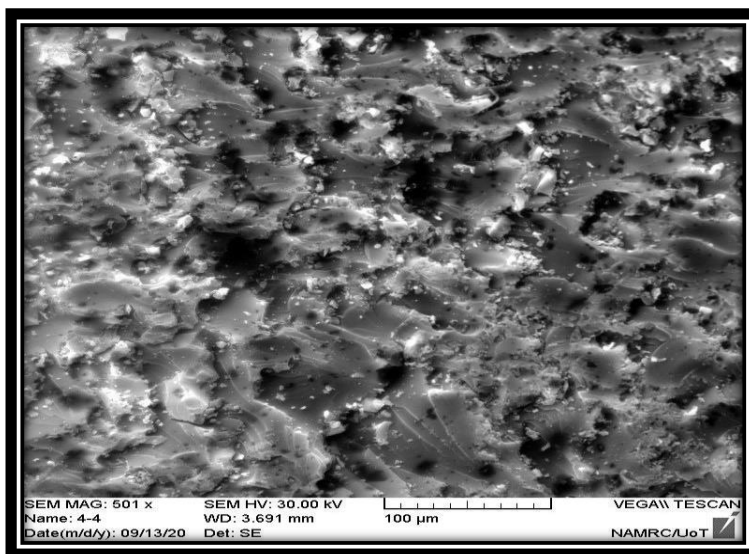
الشكل (38-4): (أ، ب، ج) سطح الكسر الهش لللايوكسي النقي.



(أ)

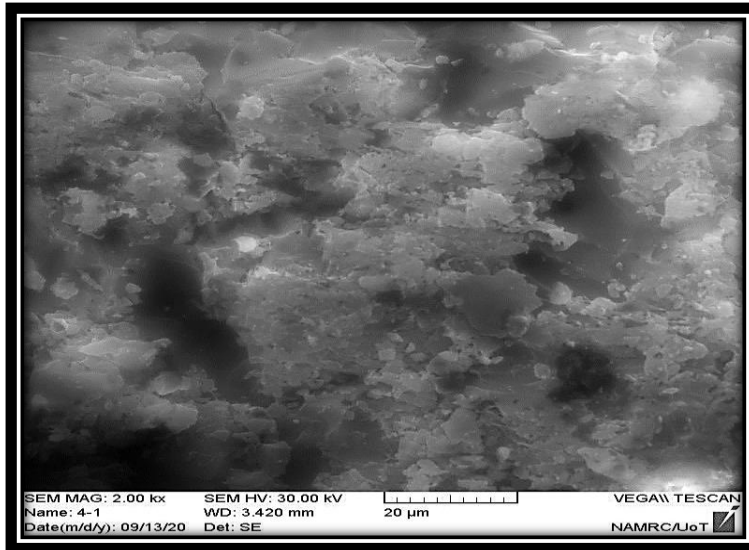


(ب)

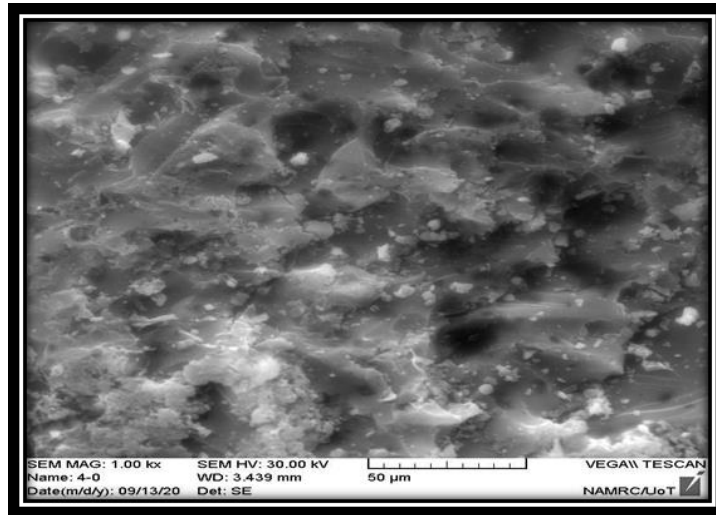


(ج)

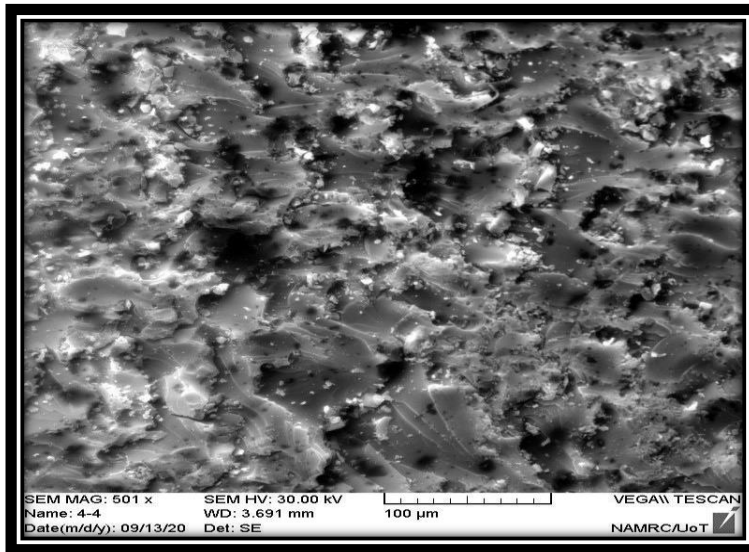
الشكل (4-39): (أ، ب، ج) سطح الكسر للإيبوكسي المدعم بدقائق السليكا النانوية بنسبة وزنية (0.1%).



(أ)

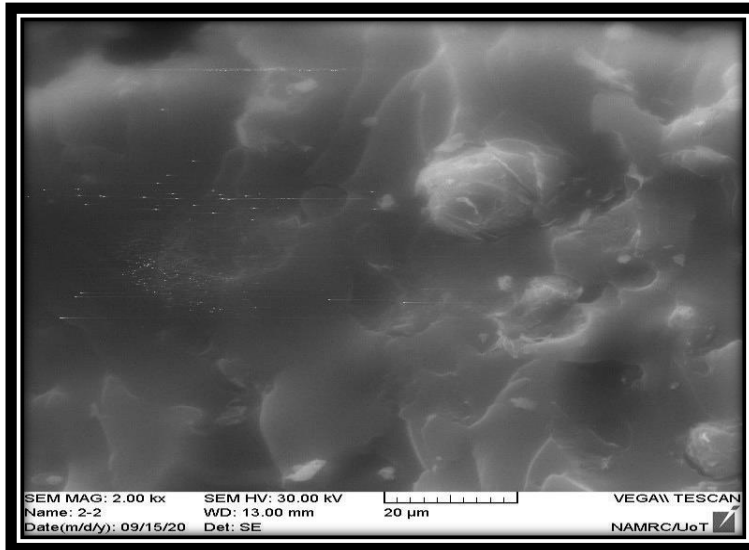


(ب)

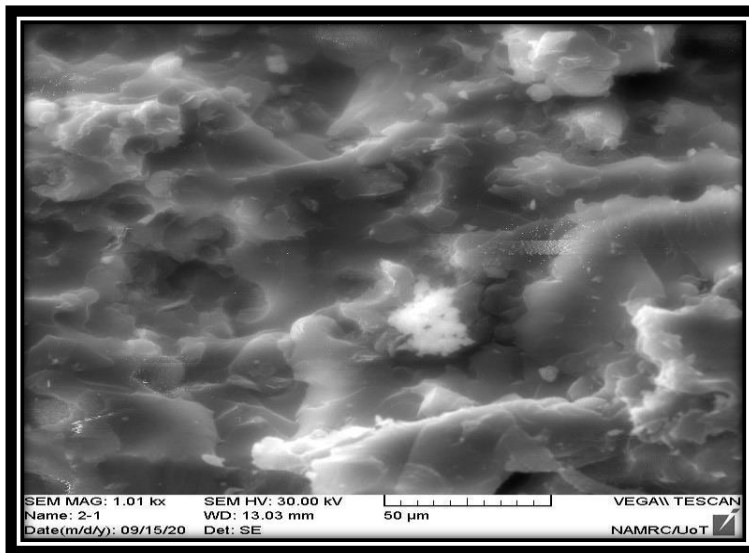


(ج)

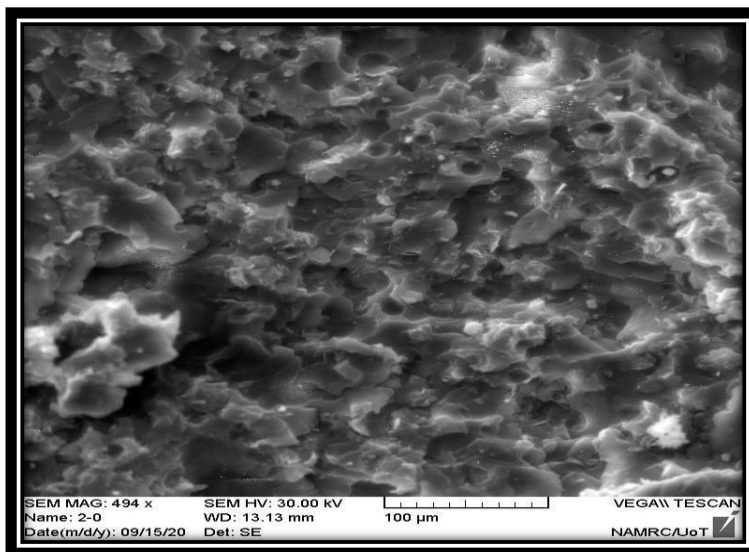
الشكل (4-4): سطح الكسر للايبوكسي المدعم بدقائق السليكا النانوية للنسبة (0.8wt%).



(أ)

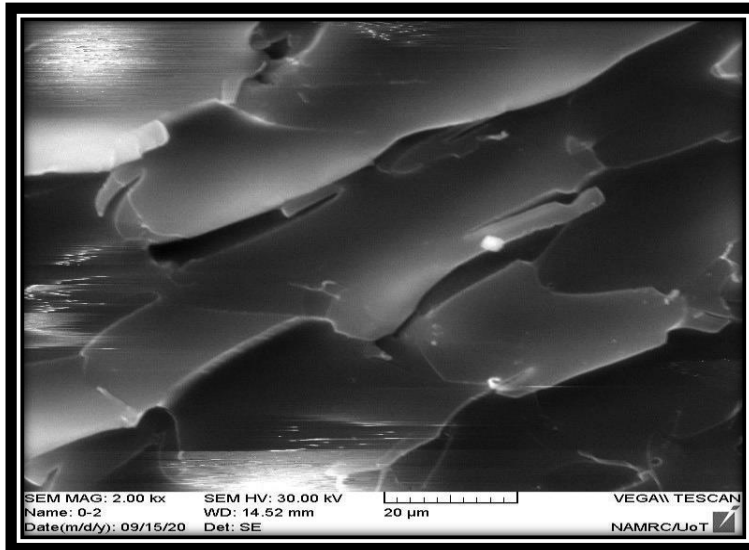


(ب)

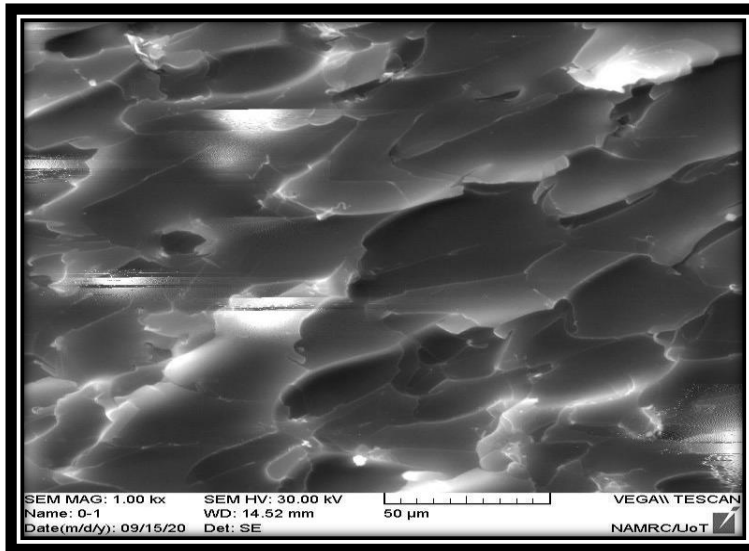


(ج)

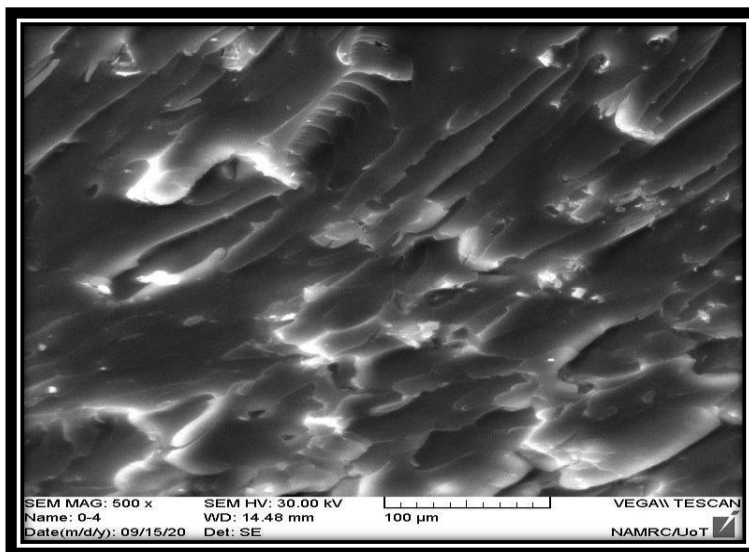
الشكل (41-4): (أ، ب، ج) سطح الكسر للايبوكسي المدعم بالكرافين النانوية للنسبة (0.1wt%).



(أ)

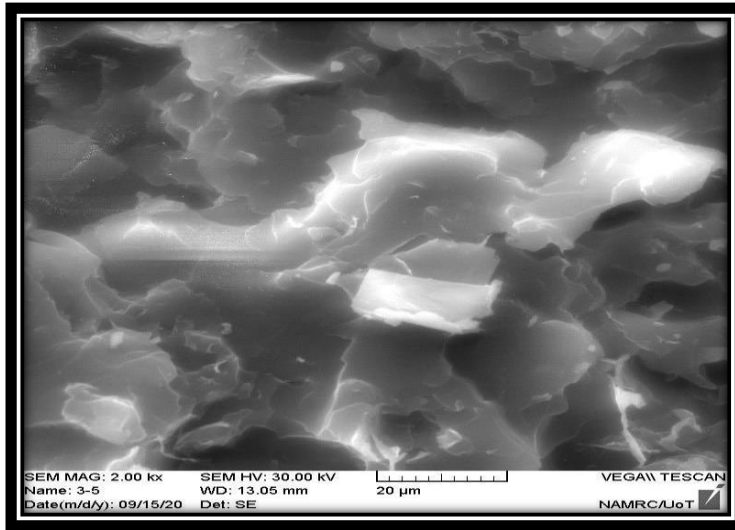


(ب)

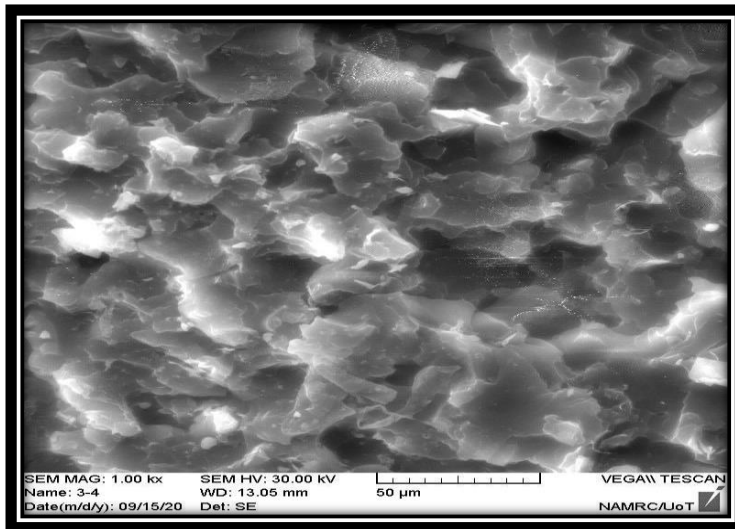


(ج)

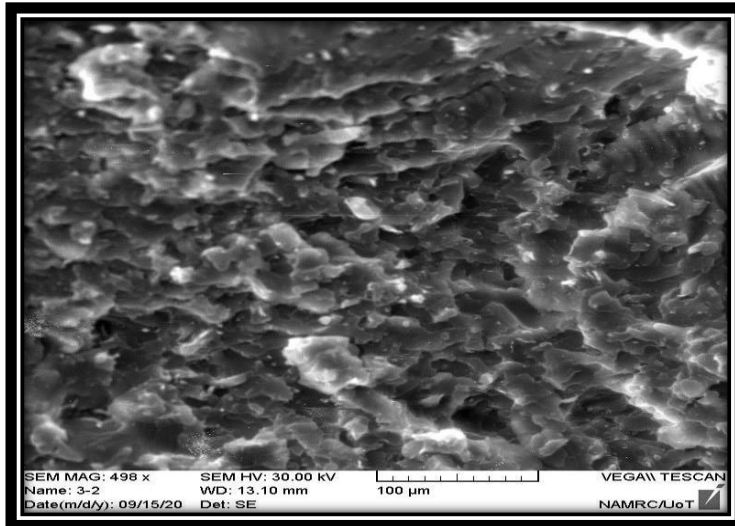
الشكل (4-42): سطح الكسر للابوكسي المدعم بالكرافين النانوية للنسبة (0.8wt%).



(أ)

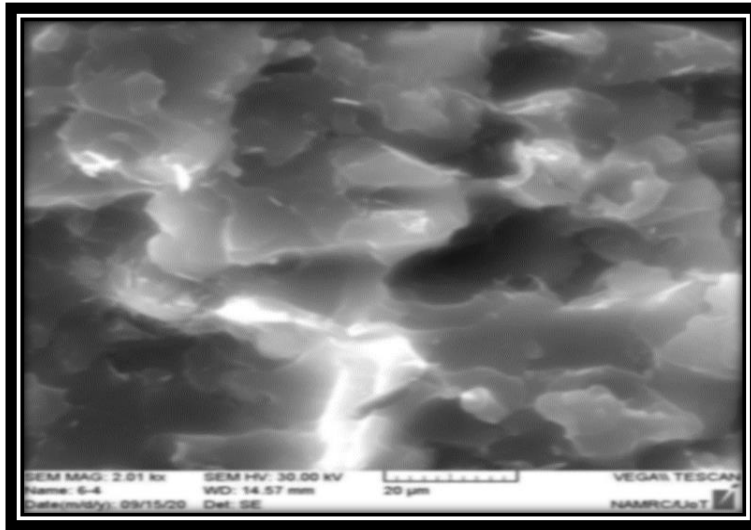


(ب)

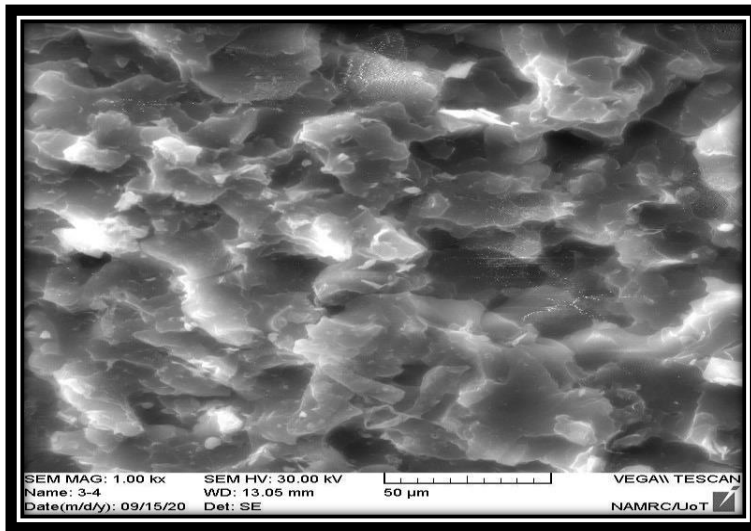


(ج)

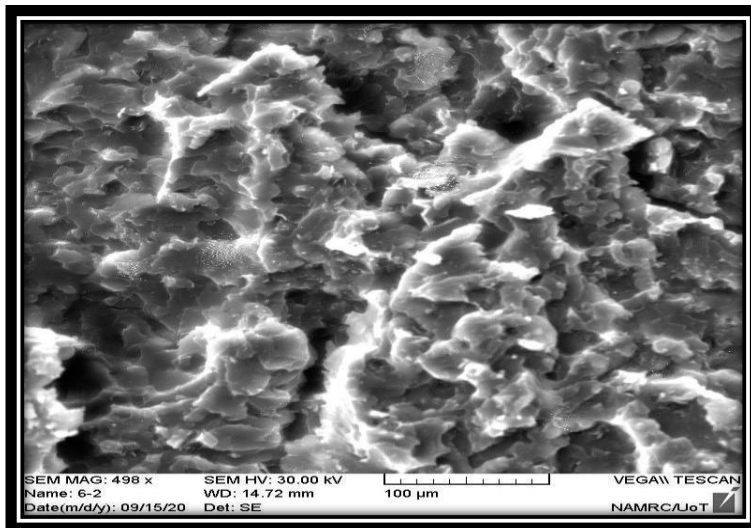
الشكل (4-43): سطح الكسر لللايبوكسي المدعم بدقائق السليكا النانوية و الكرافين النانوي للنسبة (0.1wt%).



(أ)



(ب)



(ج)

الشكل (44-4): سطح الكسر للايبوكسي المدعم بدقائق السليكا النانوية و الكرافين النانوية للنسبة (0.8wt%).



الاستنتاجات والمشاريع المستقبلية



(6-4) الاستنتاجات

Conclusions

بعد إجراء الدراسة حول المترابك المدعم بجسيمات السليكا النانوية وصفائح الكرافين النانوية وجد تأثيرها على بعض الخصائص الميكانيكية والحرارية وتم التوصل الى بعض الاستنتاجات الخاصة بهذه الدراسة.

الخصائص الميكانيكية

أوضحت النتائج ان قيم الصلادة للايبوكسي النقي تبدأ بالزيادة عند اضافة جسيمات السليكا النانوية وصفائح الكرافين النانوية.

وجد أن مقاومة الصدمة للايبوكسي النقي تبدأ بالزيادة عند اضافة جسيمات السليكا النانوية وصفائح الكرافين النانوية.

قيمة معامل الانحناء للايبوكسي النقي تبدأ بالزيادة التدريجية عند اضافة جسيمات السليكا النانوية وصفائح الكرافين النانوية وأظهرت النتائج زيادة في معامل يونك الانحنائي للايبوكسي النقي عند اضافة مواد التدعيم (جسيمات السليكا النانوية وصفائح الكرافين النانوية) بنسب وزنية مختلفة.

الخصائص الحرارية

إن معامل التوصيل الحراري للايبوكسي النقي يبدأ بالزيادة غير المنتظمة عند اضافة جسيمات السليكا النانوية وصفائح الكرافين النانوي ثم يعود لينقص عند النسبة الوزنية الكبيرة للمواد المدعمة.

أظهر الفحص بجهاز المسعر الحراري التفاضلي (DSC) للايبوكسي النقي المدعم بجسيمات السليكا النانوية وصفائح الكرافين النانوية.

درجة الانتقال الزجاجي للايبوكسي تزداد عند أغلب النسب الوزنية عند إضافة جسيمات السليكا النانوية وصفائح الكرافين النانوية حيث تكون أعظم قيمة عند النسبة الوزنية الكبيرة للمواد المدعمة.

الخصائص الكهربائية

أظهرت النتائج للايبوكسي النقي المدعم بجسيمات السليكا النانوية وصفائح الكرافين النانوية أن التوصيلية الكهربائية المتناوبة تزداد مع زيادة النسبة الوزنية لمواد التدعيم وزيادة التردد.

الخصائص المورفولوجية

تأثير اضافة دقائق السليكا النانوية وصفائح الكرافين النانوية على الخصائص التركيبية للايبوكسي وزيادة مقاومة الخدش وصلابة المادة .

Future Recommendations

(7-4) المشاريع المستقبلية

- ❖ دراسة بعض الخصائص الميكانيكية الاخرى المتمثلة ب (الشد والانضغاطية والصلابة) للايبوكسي النقي المدعم بالجسيمات النانوية وصفائح الكرافين النانوية.
- ❖ دراسة الخصائص التركيبية للايبوكسي النقي المدعم بصفيح الكرافين النانوية وجسيمات السليكا النانوية.
- ❖ دراسة الخصائص الميكانيكية والحرارية لنفس المتراكبات لكن بنسب وزنية اكثر من (1%)



المصادر

References



References

- [1] K. K. Chawla, "Composite Materials: Science and Technology", Springer, New York, (2012).
- [2] W. J. Work and K. Horie, "Polymer Blends Definiation", International Union of Pure and Applied Chmiestry, (2004).
- [3] C. P. Paul and M. M. Coleman, "Essentials of Polymers Science and Engineering", DEStech publications, Inc, (2009).
- [4] L. Michaelson "Polymers Science and Technology", Nova Science Publications, Inc, (2014).
- [5] C. A. Harper, "Handbook of Plastics Elastomers and Composites", Mc Graw Hill Companies, Inc, (2002).
- [6] R. A. Pethrick, A. M. North and A. Taweechai, "Introduction to Molecular Motion in Polymers", Whittles Publishing, (2011).
- [7] M. S. Bhatnagar, "A textbook of Polymers, Basic Concepts", New Age Publishers, New Delhi, (2007).
- [8] S. Amin and M. Amin, "Thermoplastic Elastomeric (TPE) Materials and their Use in Outdoor Electrical Insulation", Advance Materials Science, Vol. 29, pp. 15-30, (2011).
- [9] D. I. Bower, "An Introduction to Polymer Physics", Cambridge (2002).
- [10] J. R. Fried, "Polymer Science and Technology", Prentice Hall, Inc, Upper Saddle Rivers, Newjersey, (2003).
- [11] A. M. Sura, "Effect of Glass Additive on Wearing Resistance of Polymer on (Polymer – Glass) Composites", M.Sc Thesis, University of Baghdad, (2013).
- [12] S.M. Lee Editer, "International Encyclopedia of Composite" VCH Publishers, Inc, (1990).

[١٣] محمد شريف الاسكندراني، مجلة عالم المعرفة "تكنولوجيا النانو من اجل غد افضل"، العدد ٣٧٤، ابريل (٢٠١٠).

- [١٤] جهاد، مصطفى عبد الكريم، "تحضير ودراسة متراكبات بوليمرية مدعمة بمواد نانوية"، رسالة ماجستير، جامعة بغداد، (2016).
- [١٥] زياد، طارق خضير، "تصميم وتصنيع التراكيب النانوية المنمأة بتقنية APCVD ودراسة بعض الخصائص الفيزيائية وظروف الترسيب للمركب (ZnO:Fe)", اطروحة دكتوراه، كلية التربية ابن الهيثم، جامعة بغداد، (2011).
- [16] C. Kittel, Introduction to solid state physics, 7thed ,John Weily &sons,Inc., New York, (1996).
- [17] V. Pokr pivny and V. Skorokhod,"New dimensionality classifications of Nano structures", physical E:low-dimensional systems and Nano structures,Vol .40,No.7,pp.2521- 2525, (2008).
- [18] J. Tiwari, R. Tiwari and S. Kim,"Zero-dimensional,one dimensional, two-dimensional and three dimensional Nano stuctres for advanced electrochemical energy devices", Progress in Naterial science,Vol. 57,No. 4,pp, 724-803, (2012).
- [19] A. K. Geim and, K.S. Novoseloy," The rise of graphene", Nature Mater, Vol.6,pp. 183 – 191, (2007).
- [20] [20] S. Saxena and, T. A. Tyson, "Interacting quasi –two-dimensional sheets of inter liked carbon nano :a high – pressure phaseof carbon" , ACS Naw, Vol. 4, pp. 3515-3521, (2010).
- [21] K. S. Novoselov, A. K. Geim, S. V. Morzov, D. Jiang ,M.I. Katsnelosn , I. V. Grigorieva ,S. V. Dubonos, A.A. Firsov, "Two –dimensional gas of massless Dirac fermions in graphene " , Nature ,Vol.438, pp.197-200, (2005).
- [22] S. Wang ,D. Yu ,L. Dai ,D.W.Chang , and J.-B. Baek , "Polyelectrolyte – functionalized graphene as metal – free electrocatalysts for oxygen reduction " , ACS. Nano, Vol.5 ,No.8,pp.6202-6209, (2011).
- [23] K. Gong , F. Du , Z. Xia , M. Durstock , L. Dai "Nitrogen – doped carbon nanotubes arrays with high electrocalalytic activity for oxygen reduction " , Science ,Vol.323 ,pp.760-764 , (2009).

- [24] R. Cheng , J. Bai ,Liao, H. Zahou , Y. Chen , L. Liu Y.C. Lin S. Jiang , Y. Huang and X. Duan , "High frequency self- aligned graphene transistor with transferred gate stacks " Proc. Natl Acad. Sci. USA , Vol. 109,pp. 11588–11592, (2012).
- [25] W. Liu, J. Kang , D. Sarkart , Y. Khatami , D. Jena and K. Banerjee, "Role of Metal Contacts in Designing high performance Monolayer n-type WSe₂ Field Effect Transistors " Nano Lett., Vol. 13, No5, pp.1983-1990, (2013).
- [26] R. Kochetov, A. Thomas, M. Peter and S. Johan ,"Thermal and electrical behavior of epoxy – based microcompsite filled with Al₂O₃ and SiO₂ particales", IEEE International Symposium on Electrical Insulation, pp.1-5, (2010).
- [27] T. Ahmad, O. Mamat and R. Ahmad, "Studying the Effects of Adding Silica Sand Nanoparticles on Epoxy Based Composites", Journal of Nanoparticles, Vol. 2013, No.1, pp.5, (2012).
- [28] X. Zeng ,J. Yang and W.Yuan ,"Preparation of PMMA/RGO composites with enhanced properties by a solution blending method" , Eur. Poly. J. ,Vol.48, pp.1674-1682, (2012).
- [29] M. A. Aldosari , A. A. Othman and E. H. Alsharaeh ,"Synthesis and Characterization of the in Situ bulk polymerization of PMMA containing graphene sheets using microwave irradiation " , Molecules ,Vol.18, pp.3152-3167,(2013).
- [30] T.Tongwu Jiang , T.Ttapas Kuila,N.Nam Hoon Kim,Bon-cheolku and J.Joong Heel Lee "Enhanced mechanical properties of silanized silica nanoparticle attached graphen oxid/epoxy composite"composite scince and Technology 79, 115-125 (2013).
- [31] H. Majeed and S. Hamza,"Study of the Mechanical and Tribological Behavior of Unsaturated Polyester Nano carbon Black composite",journal of Engineering and Development ,Vol.17, No.6, pp.78-86, (2013).

- [32] L. Tang, Y. Wan, D. Yan, Y. Pei, L. Zhao, Y. Li, L. Wu, J. Jiang and G. Lai "Effect Graphen dispersion on the mechanical of Graphen /epoxy composite" journal of Carbon, Vol.60, pp.16-27, (2013).
- [33] H. Majeed, S. Hmza and R. Kareem, "Effect of Adding Nano carbon black on the mechanical properties of epoxy", Diyala Journal of Engineering Sciences, Vol. 7, No.1, pp.94-108, (2014).
- [34] M. Kim, Y. Kim, H. Sung and S. Shim, "Effect of surface treatment of graphen Nano platelets for improvement of thermal and electrical proptrtiesof epoxy composites", Carbon journal, Vol.16, No.1, pp.34-40, (2015).
- [35] L. Holliday, "Composite Material", Elsevier Publishing, London, (1966).
- [36] M. M. J. Treacy, T. W. Ebbesen and J. M. Gibsoj, "Exceptionally High Young's Modulus Observed for Individual Carbon Nanotubes", Nature, Vol. 381, pp. 678-680, (1996).
- [37] B. Cantor, F. P. E. Dunne and I. C. Stone, "Metal and Ceramic Matrix Composites", Taylor and Francis Group, (2003).
- [38] J. G. Morley, "High Performance Fiber Composites", University of Nottingham Academic press, England, (1987).
- [39] S. I. Somov, G. Reinhardt, U. Guth and W. Göpel, "Multi-Electrode Zirconia Electrolyte Amperometric Sensors", Solid State Ionics, Vol. 136-137, pp. 543-547, (2000).
- [40] S. Thomas, J. Kuruvilla, S. K. Malhotra, K. Goda and M. S. Sreekala, "Polymer Composites", Wiley-VCH Verlag, (2012).
- [41] M. Balkees, M. Fawziea and G. Intihah, " Studying the Impact Strength of (Epoxy with TiO₂ and MgO) Composite", Engineering and Technology
- [٤٢] أنا أنأكر ترجمه د. أكرم عزيز محمد " الكيمياء الفيزيائية للبوليمرات " جامعة الموصل ، العدد .(2011) ، 10

- [43] William D.Callister, Jr. "Material of Science and Engineering An Introduction" John Wiley and Son, Inc, (2007).
- [٤٤] عدنان رعد، "دراسة الخواص الفيزيائية لراتنج البولي استر غير المشبع المقوى بمواد طبيعية كبدائل صناعية"، رسالة ماجستير، الجامعة التكنولوجية، (٢٠٠٤).
- [45] A. L. Utracki, "Polymer Alloys and Blends; Thermodynamics and Rheology", Carl Hanser Verlag, Munich, Vienna, New York, (1990).
- [46] J. Lusi, R. Woodhams and M. Xanthos, "The Effect of Flake Aspect Ratio on the Flexural Properties of Mica Reinforced Plastics", Polymer Engineering and Science", Vol. 13, No. 2, pp.139-145, (1973).
- [47] M. P. Groover, "Fundamentals of Modern Manufacturing", prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey, (1996).
- [٤٨] صالح، هيثم رزوقي "دراسة خواص المواد البوليمرية المقواة بدقائق الالمنيوم"، رسالة ماجستير، قسم هندسة الإنتاج والمعدات، الجامعة التكنولوجية، (٢٠٠٢).
- [49] A. Berlin and S. Volfson, "Principle of Polymer Composites", Springer-Overflag, New york, (1986).
- [50] V.V. Vasiliev and E. Morozov, "Advanced Mechanics of Composite Materials ", Elsevier, (2013).
- [51] A. Brent Strong, "Plastics Material & Processing" 2th edition by USA, (2000).
- [52] V. K. Thakur, M. K. and Thakur, R. K. Gupta, "Hybrid polymer composite materials: structure and chemistry", Woodhead Publishing, (2017).
- [53] S.Goodman, "Plastic Materials Processes", Van NostandReinhold, New York, (1982).
- [54] R. J.C. Ford, "Plastics Engineering", 2nd Ed., Pergamon Press,U.K.,(1987).
- [٥٥] بيلي ف، ترجمة الدكتور حسين باقر رحمه الله، "مبادئ هندسة المواد"، جامعة البصرة، ١٩٨٥.

- [56] G. E. Dieter, translated by I. K. Abdul Razak and M. A. AbdulWahab, "Mechanical Metallurgy", University of Technology, Department of Production Engineering and Minerals, (1994).
- [57] - D. Kopeliovich, "Shore (Durometer) Hardness Test", Subs and Tech Last Modification. 28, Apr., (2012).
- [58] W. C. Young and R. G. Budynas, "Roark's Formulas for Stress and Strain", 7th Ed., McGraw- Hill, Companies, Inc., pp. 851, (2002).
- [59] A. K. Kaw, "Mechanics of Composite Materials", 2nd Ed., Taylor and Francis Group, Llc, NewYork, (2006).
- [60] W. David, and et al, "Metal Structure and Thermal Properties and Transactions," translated by Jafar Al-Haidari and Adnan Nama, Baghdad University of Technology (1989).
- [61] S. Siti, and A. G. Supri "LDPE-Isophthalic Acid-Modified Egg Shell Powder Composites (LDPE/ESPI)" ,Journal of Physical Science, Vol. 20, No.1, pp. 87-98, (2009).
- [62] L. Howlloway, "Glass Reinforcing Plastics in Construction", University Press,Surry, (1978).
- [٦٣] رنا مهدي صالح العبيدي ، "دراسة الخواص الميكانيكية لبعض المتراكبات الهجينة متعددة الطبقات" رسالة ماجستير، الجامعة التكنولوجية، قسم العلوم التطبيقية، (٢٠٠٤).
- [64] Brain S.Mitcheu "An Introduction to Material Engineering & Science" United states of America, (2004) .
- [65] B. R. Rao, V. R. Raju and K. R. Mohana, "Effect of fibre shape on transverse thermal conductivity of unidirectional composites", Springer India,Vol. 40, pp. 503-513, (2015).
- [66] R. O. Bolt and J. G. Carrol, "Radiation Effect of Organic Materials", Academic press, New York, (1963).
- [67] J. W. Nicholson, "The Chemistry of Polymers ", University of Greenwich, U.K, (2012).

- [68] T. G. Fox and P. J. Flory, "The Glass Temperature and Related Properties of Polystyrene Influence of Molecular Weight", Polymer Chemistry, Vol.14, pp. 315-319, (1954).
- [69] W. D. Callister and G. David, "Material Science and Engineering , An Introduction" , 9th Ed, John wiley and Sons Inc, (2014).
- [70] Z. Han and A. Fina, "Thermal conductivity of carbon nanotubes and their polymer nanocomposites", Progress in Polymer Science, Vol. 36, No7. pp. 914-944, (2011).
- [71] S. A. Salman, N. A. Baker and M. R. Jwameer, "Synthesis and Study of Some Optical and Thermal Propertise of (PVA-CuCl) Films", Research Journal of Chemical Sciences, Vol. 5, No.12, PP. 25-32, (2015).
- [72] B. Louis, H. Jean and L. A. Shadi, "Effect of Molecular Weight on Glass Transition by Diflerential Scanning Calorimetry", Canadian Journal of Chemistry, Vol.52, pp. 3710-3714, (1974).
- [73] M.P. Duncan and J. Mark, "Thermal Conductivity of PTFE and PTFE Composites" ,Material Characterization by Tthrmal Analysis and Calorimetry, Vol. 392–393, No.15, pp. 231–236, (2002).
- [74] K.C. Kao, "Dielectric Phenomena in Solid", Elsevier Academic press, (2004).
- [75] H. R. Allcocke, F. W. Lampe and J. E. Mark, "Contemporary Polymer Chemistry", 3rd Ed, Pearson Education, Inc, Upper Saddle River, New Jersey, (2003).
- [76] R. E. Nwenham, "Properties of Materials Anisotropy Symmetry, Structure", Oxford University Press, (2005).
- [77] K. Gupta, B. S. Brar and E. Wolde, "Effect of Filled Addition on the Compressive & Impact Properties of Glass Fiber Reinforced Epoxy", Bulleting of Materials Science, Vol. 24, No.2, (2001).

- [78] D. Chandramohan, K. Marimuthu, "Tensile and Hardness Tests on Natural Fiber Reinforced Polymer Composite Material" IJAEST, Vol.6, No.1, pp. 97-104, (2011).
- [79] Y. Zheng, R. Ning and Y. Zheng, "Study of SiO₂ Nanoparticles on the Improved Performance of Epoxy and Fiber Composite" Journal of Reinforced Plastics and Composite, Vol.24, No.3, pp. 223-233, (2005).
- [80] C.A.Harper, "Handbook of Plastics Elastomers and Composites", Mc Graw Hill Companies, Inc, (2002).
- [81] Garg ,P., Singh,B.P., Kumar, G., Gupta,T., Pandey, I., Seth , R.K., Tandon , R.P. and Mathur,R.B."Effect of dispersion conditions on the mechanical properties of multi-walled carbon nanotubes based epoxy resin composites", J Polym Res,vo,118, pp 1397-1407,(2011).
- [82] Journet, C. and Bernier.,Production of carbon nanotubes, Applied Physics A-Materials Science and Processing, 67, pp 1-9,(1998).
- [83] Ayatollahi, M.R., Shadlou, S., Shokrieh, M.M. and Chitsazzadeh, Effect of multi –walled carbon nanotube aspect ratio on mechanical and electrical properties of epoxy-based nanocomposites, Polymer Testing,vol.30,pp.548-556,(2011).
- [٨٤] سعد ميخائيل إيليا "دراسة الخصائص الميكانيكية والتوصيلية الحرارية لمادة متراكبة ذات أساس بوليمري مقواة بدقائق الالمنيوم و أكسيد الالمنيوم"رسالة ماجستير، هندسة المواد/ الجامعة التكنولوجية، (٢٠٠٧).
- [٨٥] رقيقة عامر سلمان،"دراسة الخواص الميكانيكية و الحرارية لمتراكب بوليمر عضوي – بوليمر"رسالة ماجستير،جامعة بغداد / كلية العلوم،(٢٠١٢).
- [86] A. A Mohammad, A. O. Ali and H. A. Edreese , "Synthesis and Characterization of the in Situ Bulk Polymerization of PMMA Containing Graphene Sheets Using Microwave Irradiation", Molecules, Vol.18, pp. 3152-3167, (2013).
- [87] P. G. Brian, P. Abhijit, E. P. Jonathan and T. F. Warren, "Glass Transition Behavior of Single-Walled Carbon Nanotube-Polystyrene Composites", Macromolecules, Vol .42, pp. 6152-6158, (2009).

- [88] M. T.Ramesan, V. K.Athira, P. Jayakrishnan and C. Gopinathan, "Preparation, Characterization, Electrical and Antibacterial Oroperties of Sericin Poly (vinyl alchohoi) / Poly (vinyl pyrrolidone) Composite" Applied Polymer, vol,133 Issue.24, pp.43535,(2016).
- [89] R. Popielarz, C. K. Chiang, R. Nozaki,and J. Obrzut, "Dielectric Properties of Polymer / Ferroelectric Ceramic Composites from 100 Hz to 10 GHz" American Chemical Society, Vol 34, pp. 5910-5915, (2001).
- [90] Mimura, K., Ito, H. and Fujioka, H.. "Toughening of Epoxy Resin Modified with in Situ Polymerized Thermoplastic Polymers," Polymer, vol.42,No.22, pp 9223-9233,(2001).
- [91] P. Patil,D. P.; Phalak,G. A.; Mhaske, S.T.: Design and synthesis of bio-based UV curable PU acrylate resin from itaconic acid for coating applications. Des. Mono. Poly. Vo.20, pp, 269–282, (2017).

Abstract

In this study, the effect of the addition of silica nanoparticles and graphene nanoplatelets to epoxy resin on the mechanical, thermal and electrical properties were studied. Manual casting method was used for manufacturing of epoxy resin reinforced by silica nanoparticles and graphene nanoplatelets with different weight ratios (0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 and 1wt%). Different properties of prepared samples such as hardness, impact strength, bending strength, thermal conductivity, glass transition temperature, alternating electrical conductivity and scanning electron microscopy were studied.

The hardness test results showed that the hardness of pure epoxy increased with increasing weight ratios of silica nanoparticles and graphene nanoplatelets, where the highest hardness value was reached at the weight ratio (1%). The results of the impact strength test showed a improvement in impact strength resistance when pure epoxy reinforced with silica nanoparticles and graphene nanoplatelets compared to pure epoxy, where the highest impact strength resistance value was reached at the weight ratio (1%).

The results of the bending strength showed that the epoxy bending value increased by increasing the weight ratios of the silica nanoparticles and the graphene nanoplatelets, where the highest value at weight ratio (0.8%). The thermal conductivity results showed that the thermal conductivity improved by adding reinforced materials ot pure epoxy-. The results of the DCS analysis showed that the glass transition level of pure epoxy starts to increase steadily when the supporting materials (silica nanoparticles and graphene nanoplatelets) are introduced where the maximum value is at the weight ratio (0.8%).

The results of the electrical test showed an improvement in the alternating electrical conductivity of pure epoxy by increasing the frequency and by increasing the reinforced materials (silica nanoparticles and graphene nanoplatelets) to pure epoxy.

The SEM images results showed an improvement in the scratch resistance and hardness of the nanocomposites and thus an improvement in many mechanical properties when incorporating silica nanoparticles and graphene nanoplateles t pure epoxy.



**Republic of Iraq
Ministry of Higher Education
and Scientific Research
University of Diyala
College of Science
Department of Physics**



**Study the physical and mechanical properties Of nanocomposite Epoxy
resin-(graphene- silica) haybrid**

A Thesis

**Submitted to the Council of the College of Science-University of Diyala
in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of
Science in Physics**

by

**DUHA SABEEH KALAF NOORI
B. Sc. in Physics (2011)**

Supervised by

***Assist. Prof. OLFAT AHMED MAHMOD(Ph.D).
Assist. Prof. NADYA MOEAMDJASIM(Ph.D.)***

2020 A.D.

1442 A.H.

البحوث المنشور

- ❖ Duha. Sabeeh. Kalaf.Olfat.Ahmed.Nadia.Mohamed,"Study the effect of adding silica nanopartical and graphen nanoplates on som mechanical and physical properties of composite",Indian solide state Technology,Vol.63Issue.2,(2020).