الخصائص الميكانيكية والحرارية لمتراكب ايبوكسي – كرافايت

*خالد رشاد الراوي** *نور حسين مجيد**

استلام البحث 24، شباط، 2014
قبول النشر 4، ايار، 2014

الخلاصة:
تمت دراسة تأثير الحجم الحبيبي للكرافايت في الخصائص الميكانيكية والحرارية لمتراكبات ايبوكسي – كرافايت اذ اعتمدت الاحجام الحبيبية (45,53,75m μ) على التوالي وبنسب وزنية (0,1,3,5,7,9)% لكل حجم من هذه الاحجام الحبيبية الثلاثة.الخصائص الميكانيكية تمثلت بفحص الانحناء(الانثناء) ثلاثي النقاط والذي من خلاله تم استنتاج اجهاد الثني ومعامل المرونة، اما الخصائص الحرارية فكانت من خلال فحوصات التوصيلية الحرارية.
أظهرت النتائج إن نسبة التطعيم 1% كرافايت سجلت اعلى قيمة لاجهاد الثني وفي الحجوم الحبيبية الثلاثة المعتمدة في الدراسة وكانت قيمتها عند الحجم μ45m اكبر من قيمتها للحجوم الأخرى وللبوليمر المستعمل.أما نتائج التوصيل الحراري فقد سجلت أعلى قيمة لها عند الحجم الحبيبي (53m μ) وعند النسبة 1% وبقيمة اعلى من البوليمر المستعمل.

الكلمات المفتاحية: الخصائص الحرارية، الخصائص الميكانيكية، راتنج الايبوكسي، الحجم الحبيبي كرافيت، متراكبات الايبوكسي.

المقدمة:

أصبحت للمواد ألمتراكبة ألدقائقية تطبيقات واستعمالات شتى في مجالات الصناعة كافة وتطبيقاتها نظراً لما تتمتع به من مواصفات ميكانيكية وفيزيائية جيدة فضلاً عن كلفتها الواطئة لمقارنة بالسبائك والمواد الاخرى.تعتمد الخواص النهائية لهذه المواد على شكل وحجم هذه الدقائق وكيفية توزيعها في المادة الاساس وعلى منطقة السطح البيني والتآصر الكبير بين المادة الأساس والدقائق[1] .

تعد المواد المتراكبة ذات الأساس البوليمري من المواد الحديثة التي تؤدي دوراً مهماً في معظم التطبيقات الهندسية والتكنولوجية[2]. وتعرف بأنها مواد تتكون من أكثر من مادة واحدة صممت لجعل الخصائص أفضل مما لو كانت كل مادة منفردة [3]. وتتكون المواد المتراكبة من عنصرين اساسيين وهما المادة الأساس ومادة التقوية،والمادة الأساس تعمل على ضم وربط مادة التقوية (كالألياف و الدقائق) إذ تلتصق معها بقوة وتعمل على تثبيتها وتحافظ عليها من التلف ، والمادة الأساس إما تكون معدنية و أما لدائنية و أما سيراميكية . وتعد اللدائن من أكثر أنواع البوليمرات الشائعة الاستعمال وذلك لما تمتلكه من خواص ميكانيكية جيدة[4] . اما مادة التقوية فهي تلك المواد التي تعمل على تقوية المادة الأساس وهي أما أن تكون مادة فلزية وأما سيراميكية وأما بوليمرية، وتتصف بالمقاومة العالية(High Strength) أما مطيليتها فهي إما عالية أما منخفضة وذلك بالأعتماد على نوع المادة والغرض المستعمل لأجله، وتصنف أعتماداً على الشكل والأبعاد الى : ألياف (Fibers) أو دقائق (Particles) أو قشور (Flakes) أو بهيئة شبكة من المواد[5] . والمواد المتراكبة تكون على انواع وهي المواد المتراكبة ذات الأساس اللدائني(البوليمري) التي تتمايز بسهولة التصنيع وقلة الكثافة،وصفات فيزياوية جيدة أخرى.والمواد المتراكبة ذات الأساس المعدني توفر متانة وجساءة عاليتين أعلى من التي توفرها اللدائن والسيراميك،وكذلك متانة كسر عالية ولكنها محددة الاستعمال بسبب الوزن العالي للمادة الأساس المعدنية.أما المواد المتراكبة ذات الأساس السيراميكي فتتمايز بتحملها لدرجات الحرارة العالية لذلك تستعمل المواد المتراكبة ذات الأساس السيراميكي بكثرة في صناعة ريش التوربينات وتقاوم التأكسد،ونتيجة لذلك تستعمل في الصناعات الفضائية،أو فوهات الصورايخ،او الصناعات الالكترونية الدقيقة[6].

المواد وطرائق ألعمل:

المواد

راتنج الايبوكسي

ينتمي راتنج الأيبوكسي الى مجموعة الراتنجات المتصلدة حراريا حيث تتميز هذهِ الراتنجات بعدم امكانية اعادة تشكيلها بالحرارة نتيجة لتكون سلاسل بوليمرية طويلة متشابكة مع بعضها وهو مايسمى بالربط التشابكي (cross link). يحتوي راتنج

*جامعة بغداد- كلية العلوم للبنات –قسم الفيزياء

الأيبوكسي على مجموعتين او اكثر من مجاميع الأيبوكسايد (Epoxide)،التي تتألف من ذرة اوكسجين مرتبطة مع ذرتي كاربون،ترتبط مجموعة الأيبوكسي كيميائياً مع الجزيئات الأخرى لتشكيل شبكة ثلاثية الأبعاد ذات ربط تشابكي بعملية المعالجة (curing) [7].

يتمايز راتنج الأيبوكسي بالصلادة والمقاومة الكيميائية العاليتين نسبياً فضلاً عن ذلك يمتلك هذا الراتنج قابلية التصاق نوعي عالي بسبب التركيب الكيميائي لهذا الراتنج والمتمثل في مجموعة الأيثرات والهيدروكسيل والمجاميع القطبية التي تعطي متانة والتصاقاً عاليتين وتكسب المادة صلادة وقوة ، لذلك يستعمل في التطبيقات التي تتطلب اداءاً وظيفياً عالياً. تتفاعل هذهِ الراتنجات مع المصلدات في اثناء المعالجة ويكون التفاعل غير مصحوب بتحرر الماء او تحرر اي منتجات ثانوية مما يجعل التقلص الحجمي قليلاً جداً(اقل من 2%) ومن ثم يكتسب الراتنج قوة وخواص ميكانيكية عالية فضلاً عن ذلك تمتلك راتنجات الأيبوكسي المُعالجة متانة عالية نتيجةً للبعد بين نقاط الربط التشابكي[9,8].

الكرافيت

الكرافيت متبلور من الكاربون، لهُ تركيب بلوري مميز مختلف عن الماس وهو مستقر اكثر من الماس في درجة حرارة وضغط المحيط . تركيبهُ البلوري يتألف من طبقات من ذرات الكاربون مرتبة بشكل سداسي، بداخل الطبقات، كل ذرة كاربون مرتبطة بثلاث ذرات جوار متحدة المستوى(coplaner) بوساطة اواصر تساهمية، يرتبط الألكترون الرابع بوساطة قوى فاندر فالز الضعيفة الموجودة بين الطبقات.استقراريته الكيميائية جيدة عند درجات حرارة مرتفعة في طبقة الجو غير المؤكسدة (non oxidizing atmospher) وتوصيليتهُ الحرارية عالية.

طرائق العمل

المادة الاساس

تم في هذا البحث استعمال راتنج الايبوكسي نوع (Quick mast 105) بوصفهِ مادة اساس في تحضير المواد المتراكبة البوليمرية وهو أردني المنشأ بامتياز من شركة(FOSROC) وهو في الحالة السائلة و يمكن تبلمره وتحوله للحالة الصلبة وذلك بإضافة المصلد (Hardener) حيث يتمايز المصلد بكونه سائلاً خفيفاً ذا لزوجة وكثافة واطئتين ولون اصفر شفاف ويضاف الى الراتنج بنسبة (3:1) ويصار الى خلطها يدوياً.

مادة التقوية

تم استعمال مسحوق مادة الكرافيت(graphite) لأضافتهِ للمادة الأساس (matrix) بثلاثة احجام حبيبية (75µm,53µm،45µm) وبنسب وزنية (9%,7%,5%,3%,1%,0%) ، تعد مادة تقوية اساسية من انتاج شركة (CIGMA-ALDRICH)وتعرف على انها مادة سيراميكية.

تحضير العينات

تم اعتماد طريقة القولبة اليدوية Hand lay-up molding في عملية تحضير العينات، وتم اختيار هذه الطريقة دون الطرائق المعقدة الأخرى لسهولتها كونها ملائمة وقليلة الكلفة.اذ تم اعتماد لوح زجاجي بأبعاد (12x12) سم مع قالب الصب الزجاجي مع معالجات خاصة لغرض عدم التصاق النماذج مع لوح الصب اذ تمت عملية صب العينات في ظروف متناظرة وتم خلط المزيج لمدة (15-30) دقيقة،وبعد ذلك تصب في القوالب المهيئة.تترك النماذج لمدة(24)ساعة لغرض اتمام النضوج (Full Curing) ومن ثم تترك لمدة(15) يوماً لاكمال عملية البلمرة بشكل كامل قبل المباشرة بفحص العينات. بعد اجراء العمليات السابقة يتم الحصول على نماذج المواد المتراكبة بهيئة الواح ذات سمك(4mm) بعدها يتم اجراء عملية التقطيع لغرض تهيئة النماذج بحسب المواصفات القياسية حيث تم تقطيع العينات باستعمال منشار شريطي ذي أسنان ناعمة ، أما مرحلة ضبط الأبعاد فتتم باستعمال جهاز التنعيم وبعدها تتم عملية الصقل بأوراق تنعيم بدرجة صفر. وقد تم تحضيرثلاث عينات لكل من النسب المذكورة انفا لتقليل نسبة الخطأ والحصول على نتائج اكثر دقة.

الفحوصات الميكانيكية

اختبار الأنحناء Bending Test

يعد هذا الاختبار من الاختبارات الأساسية للمواد المتراكبة وذلك لتحديد خواص المرونة واللدونة، إذ إن مقاومة الثني للمادة هي قابلية تحمل المادة لقوى الثني المسلطة بصورة عمودية على محورها الطولي [10] . وكذلك يعد من الاختبارات المعقدة كونه يتضمن أكثر من نوع من الاجهادات مثل إجهاد الشد في طبقات المقطع السفلي، وإجهاد الانضغاط في طبقات المقطع العلوي ، وأحيانا تتغلب إحداهما على الأخرى وتتسبب في فشل المادة ككل إذ إن هنالك بعض العوامل المهمة والمؤثرة في هذا الاختبار وهي : نوع ومعدل التحميل والمسافة بين المسندين وإبعاد المقطع العرضي للأنموذج [11]، [12].

إن أعظم أجهاد في ظروف فحص الثني ثلاثي النقاط والحاصل في منتصف المسافة بين المساند يمكن أن يحسب لأي نقطة واقعة على منحني (الحمل - الانحناء) بوساطة العلاقة الآتية [13] :

$$\delta_{max} = \frac{3\,f\,L}{2\,w\,h^2} \quad \ldots(1)$$

إذ إن δ_{max} إجهاد الثني و f الحمل و L المسافة بين المساند و w عرض العينة و h سمك العينة.

إن الانحراف " Deflection " يتناسب طردياً مع الحمل المسلط فعند زوال تأثير الحمل المسلط تسترجع المادة حالتها الأولى ويستنتج من ذلك إن المادة تخضع لقانون هوك "Hook's Law " وان نسبة $\frac{load}{Deflection}$ مقدار ثابت يمثل الميل "Slope" إذ يمكن أيجاد قيمة معامل المرونة الانحنائي (E_{Bend}) من العلاقة (2) وهو يمثل مقياس الصلابة خلال الجزء البدائي من عملية الثني[14].

$$E_B = \frac{mL^3}{4wh^3} \quad \ldots(2)$$

إذ إن :- E_B : معامل المرونة في الانثناء (أو معامل الثني) ب(GPa)، m : ميل الجزء الخطي من منحني (الحمل – انحراف) (MPa).

الفحوصات الحرارية THERMAL TEST

التوصيلية الحرارية Thermal Conductivity

يتم أنتقال الطاقة الحرارية عبر المادة بآليات مختلفة أعتماداً على الحالة التي نتعامل معها، ففي المواد الصلبة يتم الأنتقال بالتوصيل وفيه تنتقل الطاقة بسبب تهيج الجزيئات من موقع لآخر مصحوباً بتغير درجات الحرارة، وتختلف آلية التوصيل تبعا لكون المادة الصلبة موصلة أم عازلة وأعتماداً على طبيعة وأمكانية حركة الجزيئات، ففي المواد الموصلة تنتقل الحرارة عبر المادة بالألكترونات الحرة الموجودة في البنية، أما في حالة المواد العازلة فلا وجود لألكترونات حرة، لذا تنتقل الحرارة بوساطة آلية مختلفة تتم بموجات مرنة (Elastic Waves) ناتجة عن تذبذب الجزيئات التي تنقل هذه الذبذبة الى الجزيئات التي تجاورها نتيجة أرتباطها معا بالأواصر وبذلك تنتقل الذبذبة من الطرف الساخن الى الطرف البارد بهيئة موجات مرنة مكممة تسمى الفونونات (Phonons) [15,16].بصورة عامة تختلف طرائق قياس الموصلية الحرارية (k) تبعاً لنوع المادة وكما يأتي:

1. تقاس التوصلية الحرارية لمادة جيدة التوصيل الحراري مثل النحاس بأستعمال طريقة سيرل (Searles Method).
2. تقاس التوصلية الحرارية لمادة رديئة التوصيل على شكل قرص مثل المواد اللدائنية بأستعمال قرص لي (Lee's Disk Method) [18,17].

وفيها يوضح النموذج (S) بين قرصين من النحاس (A,B) ويمس القرص (B) المسخن الكهربائي (H) ثم يليه القرص (C) وبالأعتماد على حساب كمية الحرارة المارة خلال عينة من المادة قيد الأختبار القرص (S) إذ يتم حساب قيمة (k) من المعادلة الآتية [20,19] :

$$k.\left(\frac{T_2 - T_1}{d}\right) = e.\left[T_1 + \frac{2}{r}\left(d_1 + \frac{1}{2}d\right)T_1 + \frac{1}{r}d.T_2\right] \quad \ldots(3)$$

إذ أن (e) تمثل كمية الطاقة الحرارية المارة عبر وحدة مساحة مادة القرص لكل ثانية ($W/m^2.^oK$) وتحسب من العلاقة الآتية [18] :

$$i*v = \pi.r^2 e.(T_1 + T_3) + 2\pi.r.e.\left[d_1T_1 + d.\frac{T_1 + T_2}{2} + d_2T_2 + d_3T_3\right] \quad \ldots(4)$$

اذ ان:

(T_C,T_B,T_A): درجة حرارة الاقراص (^oC) (C,B,A) على التوالي.d سمك القرص وr نصف قطر القرص وI التيار المار وV الفولتية المجهزة .

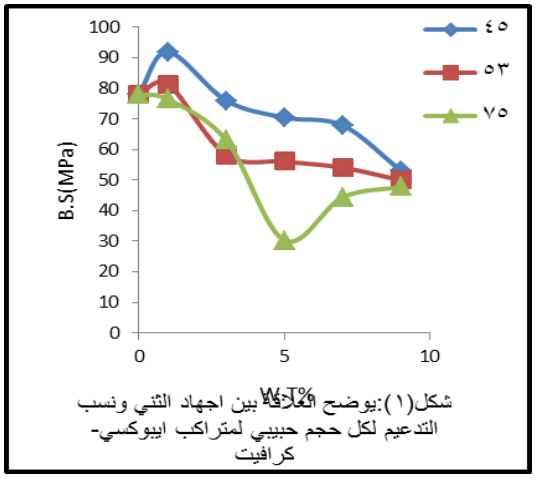
H: : المعدل الزمني للطاقة الحرارية المسلطة على ملف التسخين.

النتائج والمناقشة:

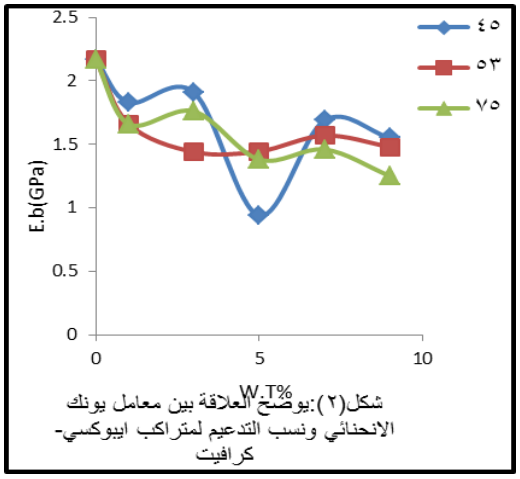
من خلال فحوصات الانحناء الشكل (1) يظهر لنا أن اجهاد الثني عند الحجم الحبيبي(45) و(53) عند نسبة تدعيم 1% قد سجل ارتفاعاً عن قيم البوليمر دون تدعيم وان قيمة الحجم الحبيبي(45) كانت هي الأكبر اذ سجلت قيمتها زيادة بمقدار(17%)عن البوليمر بدون تدعيم بينما الحجم الحبيبي(75) كانت قيمه المسجلة اقل من البوليمر دون تدعيم وعند كل النسب المعتمدة ويفسر ذلك بأن الأحجام الحبيبية الصغيرة وبالنسب القليلة ساعدت البوليمر

على ابداء مقاومة اعلى لاجهاد الثني وان النسب الأكبر من ذلك وبالأحجام الكبيرة كانت تعمل عمل مراكز نشوء الشقوق داخل البوليمر بسبب عدم انسجامها كونها ذات حجم اكبر ونسبة تدعيم اكثر[21-23].

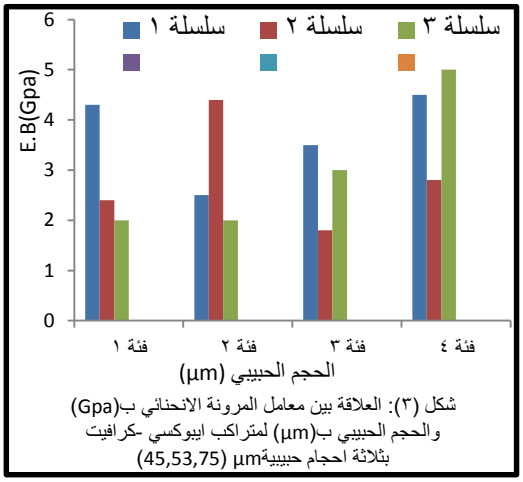
ونظراً لما تقدم من مقاومة المادة لأجهاد الثني عند النسب المؤشرة سابقآ فمن الطبيعي ان يظهر معامل المرونة بقيم اقل بسبب نقصان مرونة البوليمر المدعم عند النسب المذكورة سابقاً شكل (2).



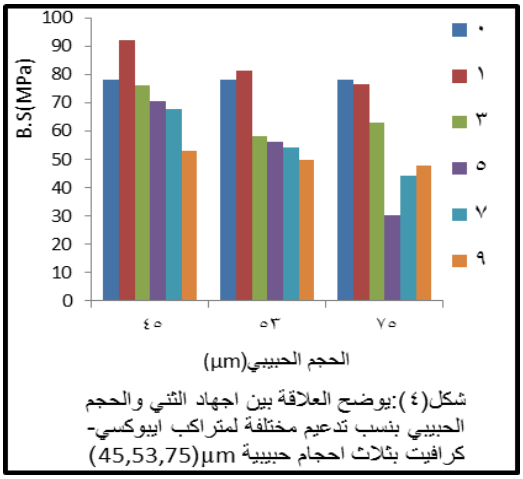
شكل(١):يوضح العلاقة بين اجهاد الثني ونسب التدعيم لكل حجم حبيبي لمتراكب ايبوكسي-كرافيت



شكل(٢):يوضح العلاقة بين معامل يونك الانحنائي ونسب التدعيم لمتراكب ايبوكسي-كرافيت

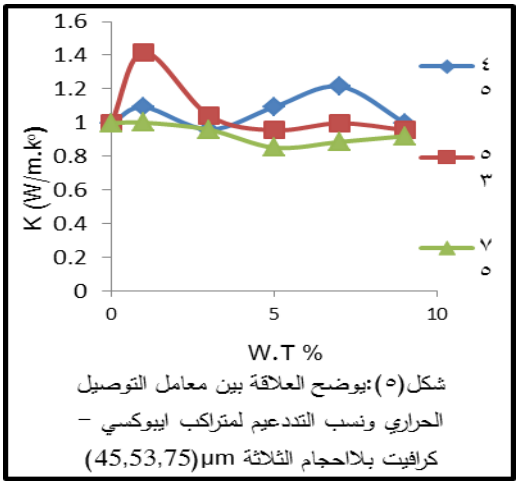


شكل (٣): العلاقة بين معامل المرونة الانحنائي ب(Gpa) والحجم الحبيبي ب(µm) لمتراكب ايبوكسي -كرافيت بثلاثة احجام حبيبية µm(45,53,75)

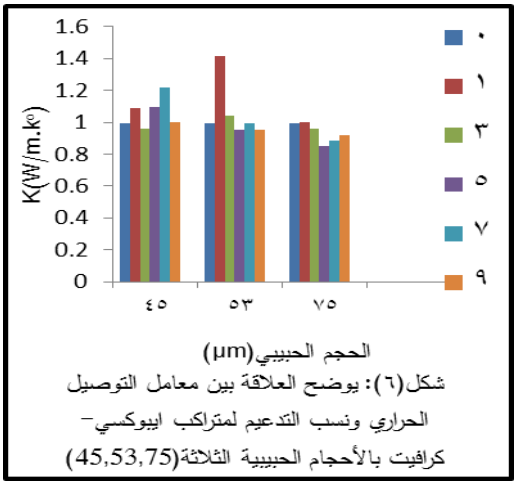


شكل(٤):يوضح العلاقة بين اجهاد الثني والحجم الحبيبي بنسب تدعيم مختلفة لمتراكب ايبوكسي-كرافيت بثلاث احجام حبيبية µm(45,53,75)

اما فحوصات التوصيلية الحرارية الشكل (5) فقد اظهرت النتائج ان معامل التوصيل الحراري عند النسبة 1% للحجم الحبيبي 53 قد سجل اعلى قيمة بالنسبة لبقية المتراكبات والبوليمر المستعمل [20].



شكل(٥):يوضح العلاقة بين معامل التوصيل الحراري ونسب التددعيم لمتراكب ايبوكسي – كرافيت بلاحجام الثلاثة µm(45,53,75)



شكل(٦): يوضح العلاقة بين معامل التوصيل الحراري ونسب التدعيم لمتراكب ايبوكسي– كرافيت بالأحجام الحبيبية الثلاثة(45,53,75)

المصادر :

1- Hamood,I. A. 2009, "Impact behavior of epoxy blends and composites", M.Sc. thesi Department of Applied Sciences, University of Technology.

2-Donald, A. R. and Pradeep P. P.2006,"The Science &Engineering Of Material " PWC 4th ed,456.

3- Richard, J. D. 2004," Understanding solids : the science of materials", Wiley & Sons, Ltd.

4- Biron .M. 2003," Thermosots & Composite" Elsevier Science Ltd.

5- Sharma., S.C. 2000, " Composite Material " Warasa Pub. House.

6- Patti, G. 1978, "Advances in composite materials" Applied science publishers, Science and Engineering, LTD.

7-Bhatnagar, M. S. 2004, "A Textbook of Polymers, [Chemistry and Technology of Polymers], (Processing and Applications)", S. Chand & Company Ltd, 1st ed.

8- Liyong, T.A; Adrian, P.M and Michael, K.B. 2002," 3D Fiber Reinforced Polymer Composites ", Elsevier Science Ltd , First Edition.

9-William, D.C.2007, "Material of Science & Engineering An Introduction"John Wiley &Son, Inc.

10- رسن،علي حسن. 2004،" دراسة السلوك الميكانيكي والحراري لمواد متراكبة هجينة " رسالة ماجستير في علوم المواد، علوم تطبيقية، الجامعة التكنولوجية .

11- Hodgkhinson, J. M. 2000," Mechanical Testing Of Advance Fiber Composites" Woodhead Publishing Ltd &CRC Cambridge, England press LLC.

12- Donald, A. R. and Pradeep P. P .2006,"The Science &Engineering Of Material " 4th ed. PWC.

13-Mitcheu, B. S.2004, "An Introduction to Material Engineering & Science" United states of America.

14- ألشمري، سيناء إبراهيم حسين .2005،" قياس معامل يونك ،متانة الصدمة والتوصيلية الحرارية لمتراكبات الايبوكسي والبولي استر غير المشبع المدعمة بطبقات هجينية بألياف الكفلر و الكاربون" رسالة ماجستير، كلية العلوم ،جامعة بغداد.

15 - زيمانسكي، م. و هريتمان، ر. ، ترجمة رضوان، د. محسن سالم و عبد الفتاح، د. عبد الرزاق. 1982. "الحرارة والديناميكيا الحرارية" ، دار مكجروهيل للنشر، مصر.

16- Collieu, A.M. and Powney،D.J. 1973, "The Mechanical and Thermal properties", Butter and Tanner, London.

17- شريف،أبراهيم. 1983."الفيزياء (1) الحرارة وخواص المادة والصوت" ،منشورات دار الراتب للأبحاث الجامعية، بيروت- لبنان.

18-Macutkevic, J. and Banys, J.2013"Epoxy Resin/carbon black composites below the percolation threshold ,J of Nanoscience and Nanotechnology,13(8):5434-5439.

19- حسين، جبار حسين. 2005، رسالة ماجستير، "دراسة تأثير بعض خواص الأيبوكسي المدعم بمواد طبيعية وصناعية "، قسم هندسة المواد، الجامعة التكنولوجية، بغداد.

20-Abde-Aal,N. and El-Tantawy, F.2008 "Epoxy Resin/Plasticized carbon black composite. Part I. Electrical and thermal properties and their applications", polymer composite,29(5):511-517.

21- George, C. J. ; Starbuck ,J. M.; Fellers ,J. F.; Simunovic, S. and Boeman,R. G. 2004," Rate Strain Effects on the Mechanical Properties of Polymer Composite Materials" ,J Appl Polymer Sci , 94: 296–301.

22- Zhou, T. ; Wang, X.; Cheng, P.; Wang ,T.; Xiong, D. and Wang, X. 2013" Improving the thermal conductivity of epoxy resin by the addition of a mixture of graphite nanoplatelets and silicon carbide microparticls." EXPRESS Polymer Letters 7 (7):585–594.

23-Odaci, D. and Timur, S.2006, "Graphite Epoxy composite electrodes modified with cells", Biochemistry,69:128-131.

Mechanical and Thermal Properties of Epoxy-Graphite Composites

*Khalid R. Al-rawi** *Noor Husian Majeed **

*Baghdad University, College of Science for Women, Physics Department

Abstract:

This search study the effect of particle size of graphite on the mechanical and thermal properties of epoxy composites, where graphite adopted with particle sizes (45,53,75) μm, respectively, and the percentages by weight (0,1,3,5,7,9)% for each size of this three particle sizes.Mechanical properties represented by the bending (three-point bending) and through which the conclusion is bending stress and modulus of elasticity, thermal properties were either through thermal conductivity tests.The results showed that the ratio(1%) is the maximum value of bending stress at the three particle size and the (45 μm) is the maximum.Thermal conductivity result show is the maximum value at ratio (1%) of particle size(53 μm)