الاستقصاء عن الخصائص الفيزيائية للمواد المتراكبة النانوية البوليمرية المستخدمة في التطبيقات الهيكلية

سهامه عيسى صالح[1] ، وليد بديوي صالح[2] و سلام عبيد عبد الغني[3]

[1]قسم هندسة المواد - الجامعة التكنولوجية
[2]جامعة الانبار- كلية التربية للعلوم الصرفة - قسم الفيزياء
[3] جامعة الانبار - كلية التربية للعلوم الصرفة - قسم الفيزياء

الخلاصة

اجرية في البحث تحضير مواد متراكبة ذات أساس مادة مطاوعة للحرارة بطريقة الصب اليدوي وقد حضرت مجموعتين من المواد المتراكبة النانوية المجموعة الأولى تتكون من راتنج البولي مثيل ميثا اكريليت (PMMA) كمادة أساس مدعمة بدقائق أوكسيد الألمنيوم النانوية (Al_2O_3) ذات معدل حجم حبيبي (53,60 nm) نانو متر مرة والمجموعة الثانية تتكون من راتنج البولي مثيل ميثا اكريليت (PMMA) كمادة أساس مدعمة بدقائق أوكسيد المغنيسيوم النانوية (MgO) ذات معدل حجم حبيبي (52,54 nm). تضمن البحث دراسة تأثير الكسر الحجمي المختار (0.5 ، 1 ، 1.5) % لدقائق مادتا التقوية على خصائص المواد المتراكبة المحضرة . وقد أجريت مجموعة من الإختبارات الفيزيائية المتمثلة بالكثافة والتوصيلية الحرارية والإنتشارية الحرارية والحرارة النوعية والمسعر الماسح التفاضلي و المجهر الألكتروني الماسح) ، وجميع هذه الإختبارات تم إجراؤها عند درجة حرارة الغرفة . وقد أظهرت نتائج البحث إن قيم (التوصيلية الحرارية والإنتشارية الحرارية والكثافة) تزداد مع زيادة الكسر الحجمي لدقائق مادتي التقوية في المادة المتراكبة . بينما قلت قيم (الحرارة النوعية) مع زيادة الكسر الحجمي لدقائق مادتي التقوية .. وإن البولي مثيل ميثا اكريليت (PMMA) المدعم بدقائق أوكسيد الألمنيوم النانوي يمتلك خصائص فيزيائية أعلى من مثيلاتيها للمادة المتراكبة المدعمة بدقائق أوكسيد المغنيسيوم النانويه كما بينت الدراسة زيادة درجة حرارة التحول الزجاج مع زيادة الكسر الحجمي لمادتي التقوية .

الكلمات المفتاحية: راتنج البولي مثيل ميثا اكريليت ، المتراكبة النانوية ، أوكسيد المغنيسيوم، أوكسيد الألمنيوم . الخواص الفيزيائية .

الاستقصاء عن الخصائص الفيزيائية للمواد المتراكبة النانوية البوليمرية المستخدمة في التطبيقات الهيكلية

سهامه عيسى صالح وليد بديوي صالح سلام عبيد عبد الغني

Investigation of Physical Properties of Polymeric Nanocomposite Material Used in Structural Applications

Sihama Issa Salih, Wleed Bdaiwi Salih and Salam Obaid Abdulghani

Received: 6 May 2016 Accepted: 19 June 2016

Abstract

In the current research were prepared composite materials, from thermoplastic polymer (PMMA) as a matrix materials by used the hand lay-out technique. The composite material was prepared from two sets of composites materials the first set consists of a poly methyl Methacrylate (PMMA) resin as matrix material reinforced by nanoparticle of aluminum Oxide (Al_2O_3) with average size (53.60) nm once and the second group is composed of poly methyl Methacrylate resin reinforced by nanoparticle of Magnesium Oxide (MgO) with average size (52.54) nm. The research includes the study of the influence of the selected volumetric fraction ratios of (0.5, 1, 1.5%) for the reinforce materials, on the properties of the prepared composite materials. Number of physical tests which included (density, Thermal Conductivity, specific heat and thermal diffusivity, and DSC) . which all test were done at room temperature. Result of the work shows that the values of Thermal Conductivity, Specific Gravity, Tg and T_m) increase with the increase of volume fraction of nanoparticle for both groups of polymeric Nano composites material. Whereas decreased the specific heat values with the increase of volume fraction of nanoparticle for both groups of polymeric Nano composites material Moreover the poly methyl Methacrylate Nano composite material reinforced with nanoparticle of aluminum Oxide possesses physical properties higher than those of Article composites reinforced with nanoparticle of Magnesium Oxide .

Key words: PMMA , nanoparticles Composite , Aluminum oxide , Magnesium oxide, Physical Tests .

الاستقصاء عن الخصائص الفيزيائية للمواد المتراكبة النانوية البوليمرية المستخدمة في التطبيقات الهيكلية

سهامه عيسى صالح وليد بديوي صالح سلام عبيد عبد الغني

المقدمة

إن الهدف من تحضير المواد المتراكبة هو الحصول على مواد تمتاز بكثافة قليلة ومتانة جيدة ومقاومة شد وجساءة (Stiffness) عاليتين وإداء عالي في درجات الحرارة العالية ومقاومة للبلى وعزل حراري وعزل صوتي جيدين، وصلادة جيدة، وتمتاز بمقاومة كلال ومقاومة تآكل عالية، وعليه فان الخصائص التي تتمتع بها المواد المتراكبة تعتمد بصورة رئيسية على خصائص كل من المادة الأساس ومواد التقوية فضلاً عن طبيعة السطح البيني بينهما [1] . تضاف مواد التقوية إلى مادة الأساس لغرض تقويتها وبالتالي تحسين مواصفاتها وتتضمن عملية التقوية نقل الحمل المسلط من مادة الأساس إلى مواد التقوية عبر السطح البيني. وتدعى هذه المواد بعناصر الطور الثانوي (Embeded Phase) تتكون مواد التقوية من مواد عديدة منها السيراميكية أو المعدنية أو البوليمرية وتتصف بصورة عامة بأنها ذات مقاومة عالية وأكثر جساءة من المادة الأساس أما مطيليتها فتتراوح بين العالية والمنخفضة أعتماداً على نوع مادة التقوية والغرض المستخدم تبعاً لطبيعة مواد التقوية إلى عدة أنواع [2] . تنشأ التقوية بالتشتيت عندما تتحمل مادة الأساس الجزء الأكبر من الإجهاد المسلط على المادة المتراكبة بينما تعمل الدقائق على إعاقة حركة السلاسل البوليمرية لمادة الأساس علاوةً على الأحمال المسلطة على المادة المتراكبة إذ إن مدى التقوية يعتمد على فعالية الدقائق المشتتة على إعاقة حركة السلاسل البوليمرية وهذا يتوقف على طبيعة الدقائق كونها مرنة أم صلدة علاوةً على قوة الترابط بين المادتين [3].تستخدم المواد المتراكبة في العديد من المجالات التطبيقية على سبيل المثال في صناعة هياكل الطائرات وصناعة الأقمار الصناعية وغير ذلك من التطبيقات الاخرى ، مما حفز العديد من الباحثين في هذا المجال[4] . يهدف العمل الحالي الى اجراء محاولة تحضير عينات ذات كثافة واطئة ومتانة جيدة و كلفة قليلة تستخدم في التطبيقات الهيكلية وعليه تم تحضير مجموعتين من المواد المتراكبة النانوية كدالة لمحتوى دقائق كل من أوكسيد الألمنيوم أوكسيد المغنيسيوم النانوية في مادة البولي مثيل ميثا اكريليت كمادة اساس ودراسة بعض خواصها الميكانيكية.

المواد و العمل التجريبي

1. المواد المستخدمة

تتكون المواد المستخدمة في تحضير عينات البحث الحالي من مادة الاساس البوليمرية (PMMA) نوع (Castavaria) المصنعة من قبل الشركة (Vertex –Dental Company) وهي احدى انواع البوليمرات المطاوعة حرارياً. ومواد التقوية والتي هي عبارة عن دقائق نانوية من مساحيق سيراميكية تتكون من أوكسيد الألمنيوم (Al_2O_3) والمصنعة من قبل شركة (RIEDEL DE HAEN AG –و متوسط قطرها (53.60 nm) وقد استخدم مجهر القوة الذرية (AFM) لتحديد معدل الحجم الحبيبي وتوزيع الدقائق والمادة الثانية هي أوكسيد المغنيسيوم (MgO) النانوية من منشأ أمريكي نوع Gamma ذات نقاوة (99.99%) مئوية. ومتوسط قطرها (52.54 nm) وقد استخدم مجهر القوة الذرية (AFM) لتحديد معدل الحجم الحبيبي وتوزيع الدقائق .

2. تحضير العينات

تم إتباع الطريقة اليدوية (Hand Lay Up) في تحضـــير العينات، حيث وزنت كلا من مادة الأســـاس ومادة التقوية النانوية تبعا للكسر الحجمي المختار (0.5 ، 1 و1.5) % . ثم تمزجت مادة التقوية ومادة الأساس مع المادة المذيبة عند درجة حرارة الغرفة. ويخلط المزيج بشكل مستمر وببطء لتجنب حدوث الفقاعات خلال عملية المزج، واستمرت مرحلة المزج مدة (4-5) دقائق إلى إن يتجانس الخليط مع ملاحظة البدء بإرتفاع درجة حرارة المزيج والذي يعد دليلاً على بدء عملية التفاعل، من المهم إن يمتلك الخليط لزوجة كافية لضـمان توزيع الدقائق النانوية بشـكل متجانس داخل مادة الاسـاس منعا لحصـول التكتل في المادة المحضـرة. ثم يصـب المزيج السـائل داخل القالب بصـورة مسـتمرة ومنتظمة إلى إن يمتلئ القالب إلى المسـتوى المطلوب . تترك العينة داخل القالب مدة (24) سـاعة لكي تتصـلب بشـكل نهائي ولاتمام المعالجة توضع العينات في فرن تجفيف مدة سـاعتين وبدرجة حـرارة (55 °C) حسب تعليمات الشركة المنتجة لمادة البولي مثيل ميثا أكربلك وهذه العملية مهمة لإكمال البلمرة ولإزالة لإجهادات المتولدة من عملية التصنيع .

3. الاختبارات

تم إختبار الكثافة وفقاً للقياسات العالمية (ASTM D792)[5]، بإستخدام طريقة أرخميدس في هذا الإختبار يمكن إستخدام أي حجم مناسب من العينات ولكن يجب أن يكون حجم العينة أقل من (1سم ^{3}) ، لدراسة الخصائص الحراريه (التوصيل الحراري و الإنتشار الحراري و الحرارة النوعية لكل وحدة حجم) أستخدم القرص الساخن في هذا الإختبار وفقاً للمواصفات القياسية بوضع العينة داخل الجهاز، وهي من التقنيات الأكثر شيوعاً . لقياس درجات حرارة التحول التي تحدث في عينة الإختبار وخاصة درجة التحول الزجاجي. تم انجاز هذا الإختبار وفقاً للمواصفة (ASTMD 3418) [6] بإستخدام المسعر التفاضلي الماسح (DSC) المصنع من شركة (Prkin–Elmercorporation) نوع (Shimadzu-DSC-60). لدراسة البنية التشكيلية لسطح الكسر قطعت عينات الشد عند منطقة الكسر إلى قطع صغيرة لتلائم جهاز المجهر الألكتروني الماسح (SEM) نوع (TESCNVGA.SB) والمصنع في بلجيكيا .

النتائج والمناقشة

1. المسعر التفاضلي الماسح

إستخدم المسعر التفاضلي الماسح (DSC) لتحديد الخصائص الحرارية للمواد البوليمرية يستند على معدل إمتصاص الطاقة الحرارية مقارنةً بالمواد المرجعية. أعتمدت هذه التقنية على التغيرات الحاصلة في الطاقة في مختلف المراحل الإنتقالية ، وعليه استخدم المسعر التفاضلي الماسح لتحديد العديد من الخواص الحرارية للمادة البوليمرية مثل درجة إنتقال الزجاج (Tg) ، درجة حرارة التبلور (Tc) ، درجة حرارة إنصهار المادة البوليمرية (T_m) ودرجة تحلل للمادة البوليمرية[7] .الشكل (1) يوضح تأثير نسبة الكسر الحجمي على قيم درجة حرارة التحول الزجاجي حيث يلاحظ إن قيم درجة التحور الزجاجي للبولي مثيل ميثا اكريليت تزداد عند إضافة كلا النوعين من الدقائق التقوية السيراميكية النانوية وتزداد هذه القيم بزيادة

الكسر الحجمي للدقئق المضافة، وإن قيم درجة حرارة التحول الزجاجي للمادة المتراكبة المحضرة والمقواة بدقائق الألومينا النانوية هي أعلى من نظائرها المقواة بدقائق المغنيسيا النانوية وهذا يرتبط بطبيعة دقائق التقوية المضافة. من خلال الشكل (2 (a، b، c، d)) الذي يمثل منحنيات المسعر التفاضلي الماسح لمادة البولي مثيل ميثا اكريليت (PMMA) كداله لمادة التقوية المتمثلة بدقائق الألومينا النانوية حيث يلاحظ من خلال هذا الشكل هناك إرتفاع ملحوظاً في قيم درجة حرارة التحول الزجاج كذلك في درجات حرارة الإنصهار عند إضافة دقائق الألومينا النانوية إلى مادة (PMMA) يلاحظ من خلال الشكل (3) والذي يمثل منحنيات المسعر التفاضلي الماسح لمادة البولي مثيل ميثا اكريليت (PMMA) المقوى بدقائق المغنيسيا النانوية حيث يلاحظ من خلال الأشكال (3 (a، b،c،d)) هناك إرتفاع طفيف في قيم درجة حرارة التحول الزجاج وفي درجات حرارة الإنصهار عند إضافة دقائق المغنيسيا النانوية إلى (PMMA) . وهذا يعود إلى طبيعة توزيع دقائق المغنيسيا النانوية ضمن مادة الأساس يمكن ملاحظته من خلال الفحص المجهر الإلكتروني الماسح (SEM) جدول (1) قيم درجة حرارة الانتقال الزجاجي ودرجة انصهارها لمادة متراكبة ذات أساس بولي مثيل ميثا أكريليت المقواة بكسور حجمية مختلفة من دقائق أوكسيد الألمنيوم وأوكسيد المغنيسيوم النانوية [8].

2. اختبار الكثافة

يوضح الشكل (4) الذي تأثير نسبة الكسر الحجمي للدقائق النانوية المضافة والمتمثلة بدقائق الالومينا النانوية والمغنيسيا النانوية على كثافة المادة متراكبة ذات اساس مادة البولي مثيل ميثا اكريليت البوليمرية. أن قيم الكثافة تزداد بزيادة الكسر الحجمي لكلا النوعين من الجسيمات . والسبب في ذلك ان كثافة كلاً من دقائق أوكسيد الالمنيوم النانوية وأوكسيد المغنيسيوم النانوي هي أعلى من كثافة مادة الإساس (البولي مثيل ميثا اكريليت). وإن قيم الكثافة للمادة المتراكبة المحضرة والمقواة بدقائق الألومينا النانوية هي أعلى من نظائرها المقواة بدقائق المغنيسيا النانوية وذلك لأن دقائق الألومنيا النانوية ذات كثافة أعلى من قيم دقائق المغنيسيا النانوية وأيضاً استخدام دقائق الألومينا النانوية في التدعيم سوف يسهل عملية التغلغل داخل مادة الأساس قبل انتهاء عملية التصلب مما يساعد على زيادة مساحة التماس بين المادة الأساس ومواد التقوية بالإضافة إلى التخلص من الفجوات والمسامات البينية الموجودة في العينة مما يؤدي في النهاية إلى زيادة كثافة المادة المحضرة[9].

3. الخصائص الحرارية الفيزيائية

تعد آلية إنتقال الطاقة الحرارية عبر المادة الصلبة (التوصيل الحراري) ، أحد الظواهر الفيزيائية الأساسية التي من خلالها يمكن دراسة وتفسير سلوك المادة عند تغير الدرجات الحرارية ، والشكل (5) يوضح تأثير نسبة الكسر الحجمي على قيم التوصيلية الحرارية حيث يلاحظ إن قيم التوصيلية الحرارية للبولي مثيل ميثا اكريليت تزداد عند إضافة كلا من الدقائق التقوية السيراميكية النانوية وتزداد قيم التوصيلية الحرارية بزيادة الكسر الحجمي للدقئق المضافة ويعود ذلك إلى عدم انظامية في بنية مادة الاساس (عشوائية) بسبب احتوائها على مجموعتين مجموعة (CH_3) ومجموعة ($COOH_3$) مما جعل عملية انتقال الطاقة الحرارية من طرف الى اخر عملية صعبة وكذلك قيم الموصلية الحرارية للمواد التقوية النانوية هي أعلى من قيم التوصيل الحراري لمادة الاساس ، وإن قيم الموصلية الحرارية للمادة المتراكبة المحضرة والمقواة بدقائق الألومينا النانوية

هي أعلى من نضائرها المقواة بدقائق المغنيسيا النانوية وهذا يرتبط بطبيعة كلاً من دقائق التقوية المضافة(من حيث الكثافة والمسامية).

والشكل (6) يمثل تأثير الكسر الحجمي على قيم الإنتشارية الحرارية، حيث إن الإنتشارية الحرارية للبولي مثيل ميثا اكريليت تزداد عند إضافة دقائق مواد التقوية ويصبح مقدار الزيادة أكبر بزيادة الكسر الحجمي وذلك . وإن قيم الإنتشارية الحرارية للمادة المتراكبة المحضرة والمقواة بدقائق الألومينا النانوية هي أعلى من نضائرها المقواة بدقائق المغنيسيا النانوية وهذا يعود إلى الأسباب المذكورة في أعلاه . ومن خلال الشكل (7) يمكن ملاحظة أن قيم الحرارة النوعية إنخفضت مع زيادة الكسر الحجمي لكلا مواد التقوية ويعود السبب إلى ان الحرارة النوعية تتناسب عكسيا مه الانتشارية الحرارية ، وإن قيم الحرارة النوعية للمواد المتراكبة المقواة بدقائق المغنيسيا النانوية هي أعلى من تلك المقواة بدقائق الألومينا النانوية [10] .

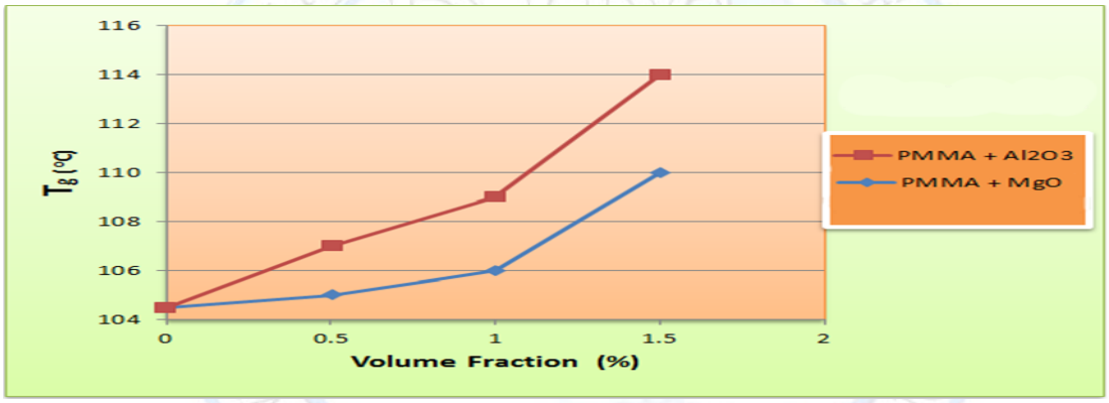
4. المورفولوجية بواسطةSEM

تعتمد مرفولوجية المواد البولبمرية على صنف المواد البوليمرية ومكوناتها ونسب مواد التقوية ضمنها ، ولزوجة الإنصهار للمكونات وظروف التصنيع. ومن أجل ربط ما بين الخواص الفيزيائية لمادة البولي مثيل ميثا اكريليت (PMMA) ومتراكباتها والبنية المجهرية الدقيقة لها. تم إستخدام المجهر الألكتروني الماسح (SEM) لدراسة مورفولوجية سطح الكسر لمادة (PMMA) النقية ومتراكباتها المتمثلة ب(Al_2O_3:1.5%(PMMA)) و(PMMA:1.5%MgO) والموضحة من خلال الأشكال (8)(C ,B,A) على التوالي ، ويظهر من خلال الأشكال إن كلتي المادتين المتراكبة لهما بنية تشكلية مستمرة وإن هنالك إختلاف في مورفولوجية سطح الكسر لكلتي المادتين المتراكبة والذي يعتمد على مكونات المادة المتراكبة ، حيث يلاحظ إن مرفولوجية سطح الكسر لمادة المتراكبة (PMMA – 1.5%Al_2O_3) والمبينة في الشكل(8) (B)) تظهر أكثر نعومة مقارنة بمادة الاساس (الشكل 8(A)). ومن خلال المقارنة مع سطح الكسر لمادة المتراكبة (PMMA:1.5%MgO) والوضحة في الشكل (8 (C)). يلاحظ أن سطح الكسر للعينات المتراكبة المقواة بدقائق المغنيسيا النانوية تحتوي على جسيمات نانونية ومايكروية تتجمع في الفراغات ضمن البنية المجهرية غير المتواصلة ، كما يلاحظ تكوين تشققات وفجوات مسامية ضمن البنية المجهرية للمادة المتراكبة المقواة بدقائق المغنسيا النانوية [12،11].

الإستنتاجات

تم في العمل الحالي دراسة بعض الخواص الفيزيائية لمجموعتين من المواد المتراكبة النانوية كدالة لمحتوى دقائق كل من أوكسيد الألمنيوم النانوي ودقائق أوكسيد المغنيسيوم النانوي في مادة البولي مثيل ميثا اكريليت كمادة اساس وعليه تم استنتاج مايلي:-

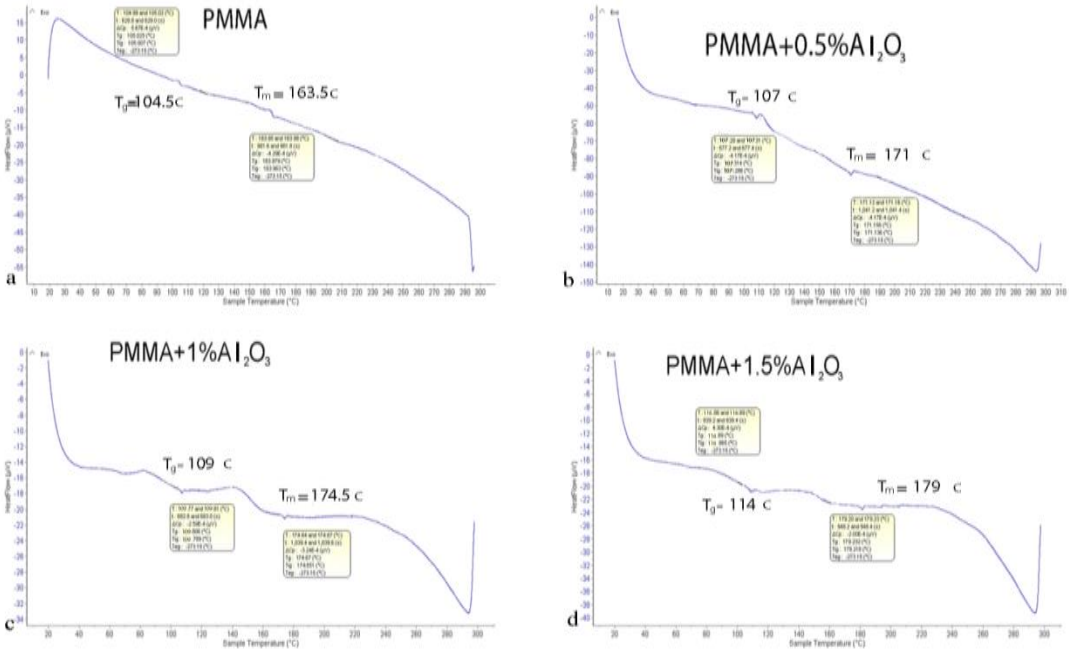
إن إضافة دقائق كل من أوكسيد الألمنيوم النانوي ودقائق أوكسيد المغنيسيوم النانوي إلى مادة البولي مثيل ميثا اكريليت ادى إلى تحسين بعض الخصائص الفيزيائية والمتمثلة بخواص (الكثافة ، التوصيلية الحرارية ، الإنتشارية الحرارية ، الحرارة النوعية) ، وان إضافة دقائق أوكسيد الألمنيوم النانوية اعطى خصائص اعلى من نتائج نظيراتها من العينات الاخرى المدعمة بأوكسيد المغنيسيوم النانوية ، وعليه ان فكرة اضافة مساحيق نانوية مثل دقائق الالومينا وبنسب محدوده الى مادة البولي مثيل ميثا اكريليت من المتوقع أن تكون ناجحة في تطبيقات الهيكلية



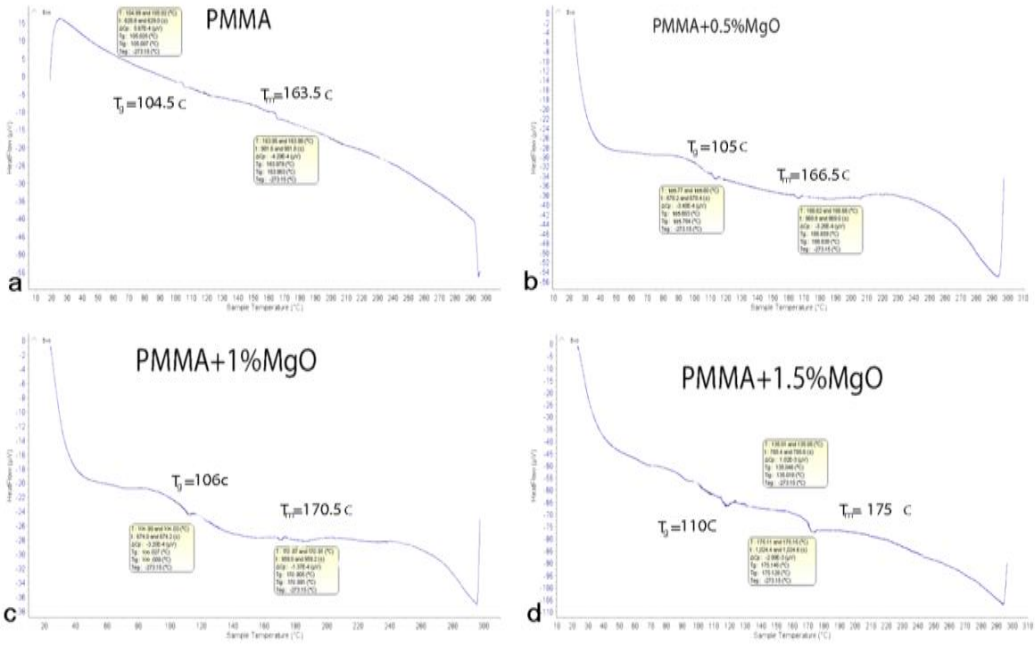
شكل (1) درجة حرارة تحول الزجاج كدالة للكسر الحجمي لدقائق أوكسيد الألمنيوم وأوكسيد المغنيسيوم النانوية لمادة متراكبة ذات أساس من البولي مثيل ميثا اكريليت

جدول (1) قيم درجة حرارة الانتقال الزجاجي ودرجة انصهارها لمادة متراكبة ذات أساس بولي مثيل ميثا أكريليت المقواة بكسور حجمية مختلفة من دقائق أوكسيد الألمنيوم وأوكسيد المغنيسيوم النانوية

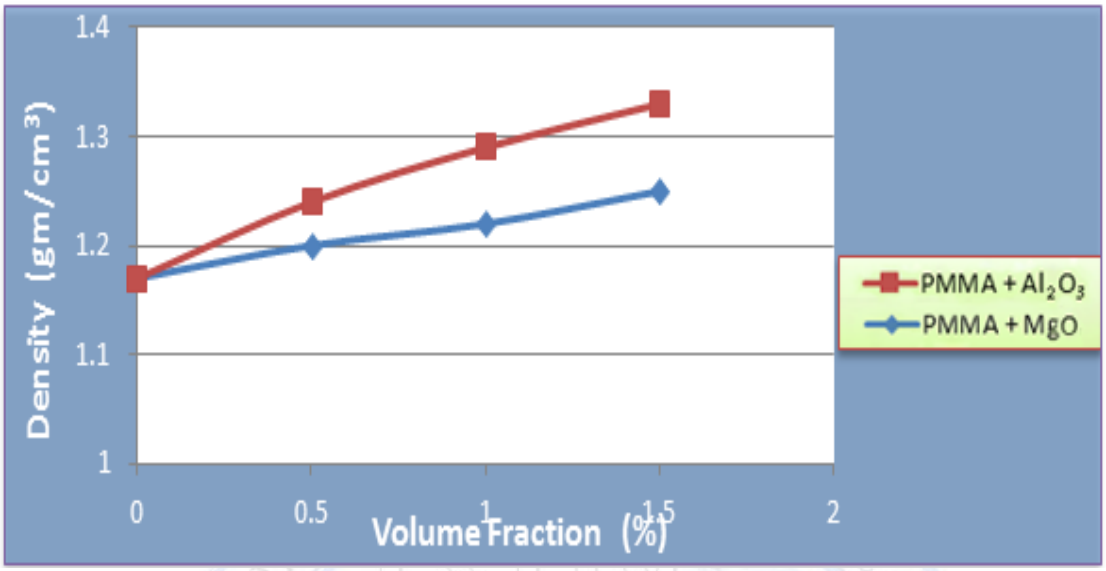
Specimen	T_g °C	T_m °C
PMMA	104.5	163.5
PMMA + 0.5% Al_2O_3	107	171
PMMA + 1% Al_2O_3	109	174.5
PMMA + 1.5% Al_2O_3	114	179
PMMA + 0.5%MgO	105	166.5
PMMA + 1%MgO	106	170.5



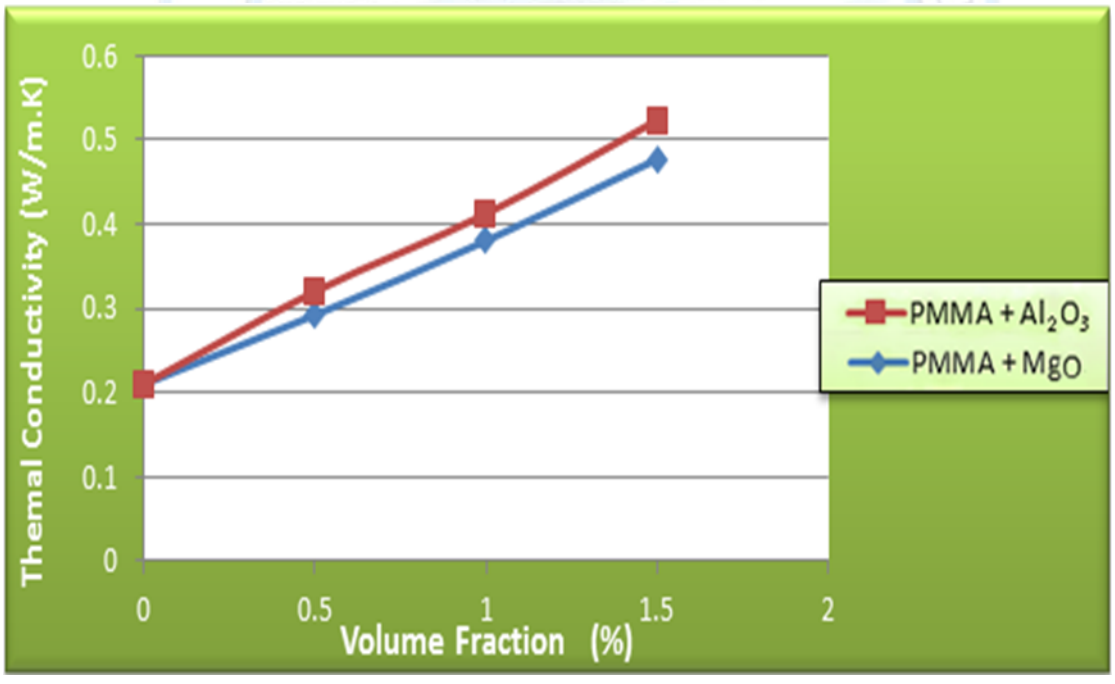
شكل (2) درجة حرارة إنتقال الزجاج وإنصهارها لمادة متراكبة ذات أساس من البولي مثيل ميثا اكريليت المقواة بكسور حجمية مختلفة من دقائق أوكسيد الألمنيوم النانوية



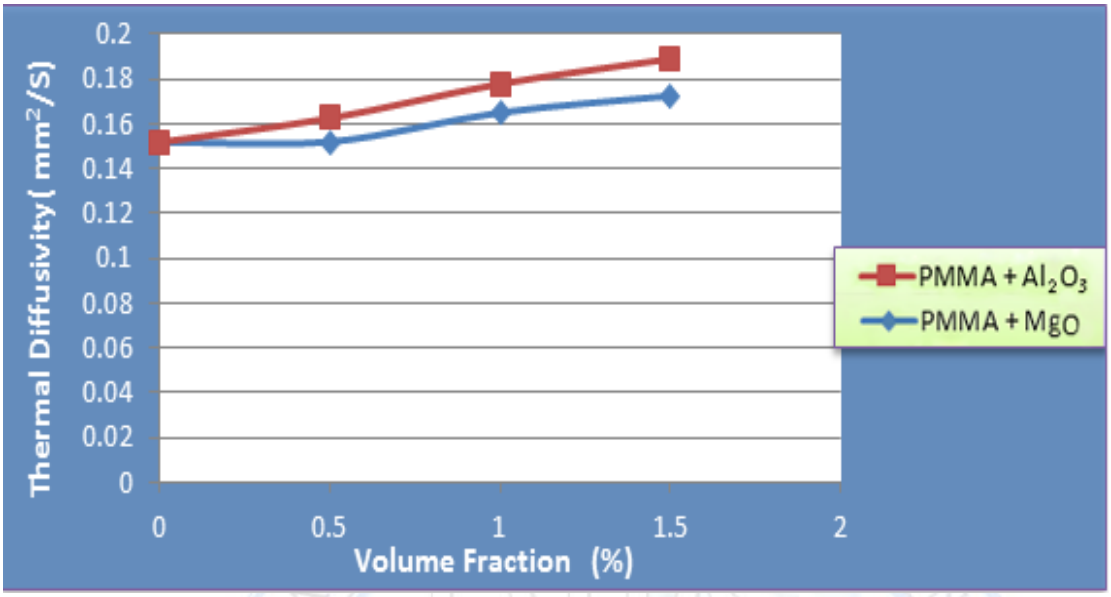
شكل (3) درجة حرارة إنتقال الزجاج وإنصهارها لمادة متراكبة ذات أساس بولي مثيل ميثا اكريليت المقواة بكسور حجمية مختلفة من دقائق أوكسيد المغنيسيوم النانوية



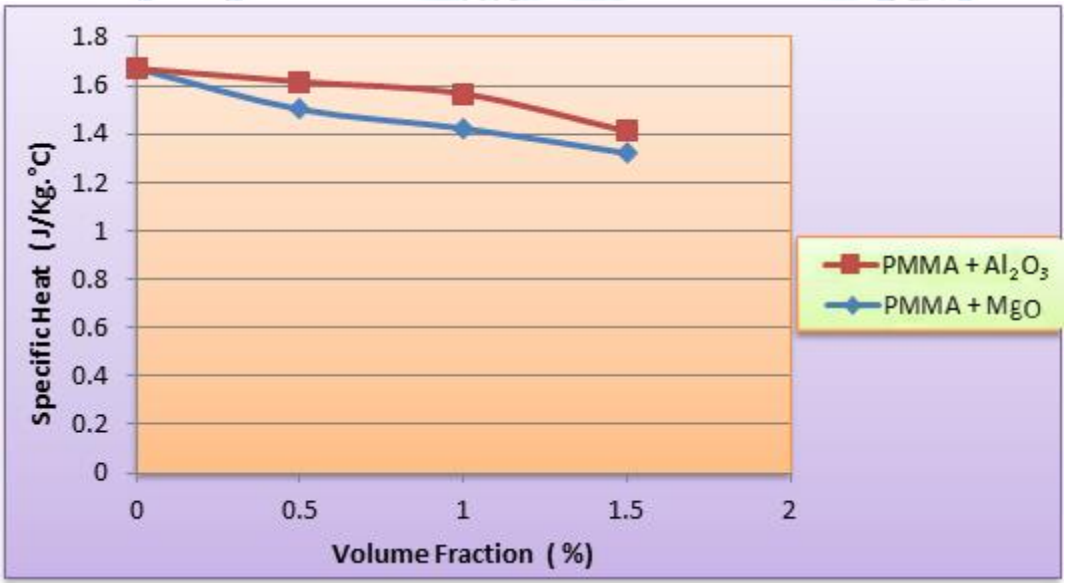
شكل (4) كثافة المادة المتراكبة كدالة للكسر الحجمي لدقائق أوكسيد الألمنيوم وأوكسيد المغنيسيوم النانوية لمادة متراكبة ذات أساس من البولي مثيل ميثا اكريليت



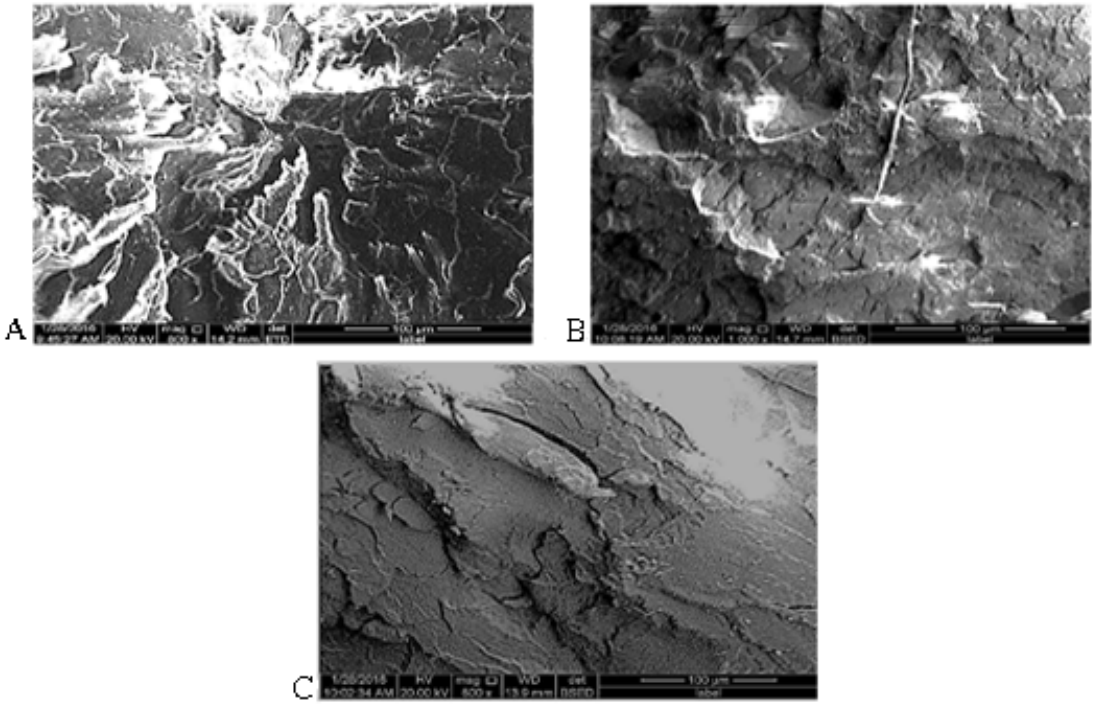
شكل (5) التوصيلية الحرارية كدالة للكسر الحجمي لدقائق أوكسيد الألمنيوم وأوكسيد المغنيسيوم النانوية لمادة متراكبة ذات أساس من البولي مثيل ميثا اكريليت



الشكل (6) الإنتشار الحراري كدالة للكسر الحجمي لدقائق أوكسيد الألمنيوم وأوكسيد المغنيسيوم النانوية لمادة متراكبة ذات أساس من البولي مثيل ميثا اكريليت



شكل (7) الحرارة النوعية كدالة للكسر الحجمي لدقائق أوكسيد الألمنيوم وأوكسيد المغنيسيوم النانوية لمادة متراكبة ذات أساس من البولي مثيل ميثا اكريليت



شكل(8) الصور الفوتغرافية للمجهر الإلكتروني الماسح لسطح الكسر (A) لمادة الأساس (PMMA) وعند تكبير (800 X) (B) والمادة المتراكبة (PMMA:1.5 %Al_2O_3) وعند تكبير (800X) ، (C) والمادة المتراكبة (PMMA:1.5 %MgO) وعند تكبير (800X)

المصادر

1. نجلاء رشدي محمد العاني "تشكيل ودراسة الخصائص الميكانيكية والحرارية لبعض الخلطات البوليميرية والمقويات الأخرى"، رسالة دكتوراة، قسم العلوم التطبيقية، الجامعة التكنولوجية، (2002).
2. Christophe Baley Mechanical Properties of Composites Based on Low Styrene Emission Polyester Resins for Marine Application", , Y. Perrot, Peter Davies, Journal of Applied Composite Materials, Vol. 13, No. 1, January, (2006), P.P, (1-22).
3. Bolton," Engineering Materials Technology", 3th ed., Prentice Hall Co., (1998).
4. محمد شفيق "تأثير البيئة على خصائص الشد والكلال للمركبات المقواة بالالياف الزجاجية"، رسالة ماجستير، الهندسة الميكانيكية، جامعة الملك فهد للبترول والمعادن، الظهران، المملكة العربية السعودية، ايار، (2006).

5. Chow Wen Shyang, H. K. Tay, A. Azlan and Z. A. Mohd Ishak, "Mechanical and Thermal Properties of Hydroxyapatite Filled Poly (Methyl Methacrylate) Composites", Proceedings of the Polymer Processing Society 24th Annual Meeting, PPS, University of Sains Malaysia, (June, 2008).
6. "The Evaluation of Flexural Strength and Impact . Dagar Sanjiv Rajender. et. al., Strength of Heat-Poly methyl methacrylate Denture Base Resin Reinforced with Glass and Nylon Fibers: An In vitro Study", Journal of Indian Prosthodontic Society, Vol. (8), No. (2), PP. (98-104), (June, 2008).
7. S. I. Salih, J. K. Oleiwi, Q. A. Hamad "Comparative Study the Flexural Properties and Mpact Strength For PMMA Reinforced by Particles and Fibers for Prosthetic Complete Denture Base"The Iraqi Journal For Mechanicl Engineering. Vol. 15, No. 4, 2015, pp289-307
8. S. I. Salih, J. K. Oleiwi, Q. A. Hamad "Numerically and Theoretically Studying of the Upper Composite Complete Prosthetic Denture", Eng. & Tech. Journal Vol. 33 Part (A) No. 5, 2015, pp 1023-1037
9. Sihama Issa Salih, Jawad Kadhum Oleiwi, Qahtan Adnan Hamad Investigation of Fatigue and Compression Strength for the PMMA Reinforced by Different System for Denture Applications International Journal of Biomedical Materials Research2015; 3(1): 5-13
10. Annual Book of ASTM Standard, "Standard Test Method for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement Methods", D 792, Vol. (09.01), PP. (1-5), (2006).
11. Annual Book of ASTM Standard, "Standard Practice for General Techniques for Obtaining Infrared Spectra for Qualitative Analysis", E 1252-98, PP. (1-11), (2002).
12. Annual Book of ASTM Standard, "Standard Test Method for Transition Temperatures of Polymers by Differential Scanning Calorimetry", D 3418-03, PP. (1-6), (2003).