

تأثير التقوية بمسحوق اوكسيد الزنك على الخواص الميكانيكية لمادة متراكبة ذات أساس من البولي استر غير مشبع

هناء عرير سميح*

تاريخ التسليم : 2010/12/22

تاريخ القبول : 2011 / 6 / 2

الخلاصة

يهدف هذا البحث إلى تحضير مواد متراكبة ذات أساس بوليمري بطريقة الصب اليدوي وقد حضرت المواد المتراكبة من راتنج البولي استر غير المشبع كمادة أساس مدعمة بمسحوق اوكسيد الزنك بكسور حجميه (0%، 1%، 2%، 3%، 4%). وقد اجريت مجموعة من الاختبارات الميكانيكية شملت (اختبار الصدمة والانحناء ومتانة الانحناء واجهاد القص والصلادة) وقد اظهرت نتائج البحث ان قيم (معامل مرونة الانحناء ومتانة الانحناء والكسر والصلادة واجهاد القص) تزداد مع زيادة الكسر الحجمي لدقائق اوكسيد الزنك بينما تقل قيم مقاومة الصدمة مع زيادة الكسر الحجمي لدقائق اوكسيد الزنك.

Effect of Reinforced by Zinc Oxide Powder on the Mechanical Properties for Un-saturated Polyester Matrix Composite Material

Abstract

This research is devoted to the preparation of polymer matrix composite materials by (Hand Lay-Up) method, where the composite material was prepared from the unsaturated polyester resin (UP) as a matrix reinforced by Zinc Oxide with volume fractions (0% , 1% , 2% , 3% , 4%). several of mechanical tests were done and these includes Impact, Bending, Flexural Strength, Shear Stress and Hardness, Result of the tests shows that the values of (Bending elastic modulus, Flexural Strength , Fracture Toughness, Hardness and Shear Stress) increase with the increase of Zinc Oxide particle volume fraction, but the values of Impact Strength decreased with the increases of volume fraction of Zinc Oxide particles.

Keywords: - ZnO , Unsaturated polyester Resin(Up), Shear Stress.

1- المقدمة

والسيراميك) ومن اهم هذه الخواص هي المقاومة النوعية العالية ومعامل المرونة العالي والجساءة العالية والمتانة وقابلية التشكيل [1].
تعد المواد المتراكبة ذات الأساس البوليمري من المواد التي تلعب دور مهم في معظم التطبيقات الهندسية والتكنولوجية، الا ان استخدام هذه المواد يتطلب امتلاكها متانة جيدة

نتيجة للتطور الصناعي الكبير الذي شهده العالم في كافة المجالات، سعى العلماء والباحثون الى ايجاد بدائل مختلفة للمواد ذات الاستخدامات الصناعية المتعددة، حيث تحتاج العديد من التطبيقات الهندسية الى مزيج من الخواص الملائمة التي لا يمكن الحصول عليها من المواد الهندسية الاساسية (كالبلاستيك واللدائن

وحجم التركيز بمدى واسع ومن الممكن إن تكون الدقائق فلزية وغير فلزية ، أن عملية التقوية في الراتنجات اللزجة باستخدام مواد دقايقية تسمى الحشوات (Fillers) [4].

2-الجزء العملي

تم استخدام راتنج البولي استر غير المشبع (Unsaturated polyester Resin(UP)) كمادة

أساس في تحضير المواد المتراكبة البوليمرية والمصنع من قبل شركة (SIR) السعودية وهو على شكل سائل لزج شفاف عند درجة حرارة الغرفة وهو احد أنواع البوليمرات المصلدة حراريا" ويتحول هذا الراتنج إلى الحالة الصلبة عند إضافة المصلد (Hardener) المصنع من قبل الشركة نفسها وهو عبارة عن (Methyl Ethyl Keton Peroxide) سائل شفاف يضاف الى راتنج البولي استر غير المشبع بنسبة(2%) من الراتنج ولزيادة سرعة تصلب الراتنج تم استعمال مادة اوكتوات الكوبلت (Cobalt Octeate) كعامل مساعد وتدعى المعجلات (Acceleration) وهي مادة غامقة تكون بهيئة سائل وتضاف بنسبة (0.5 gm) لكل (100 gm) من الراتنج تم خلط المزيج (المعجل مع المادة الأساس) مباشرة باستخدام الخلط اليدوي لمدة (10-15) دقيقة باستخدام قضيب زجاجي إلى إن تجانس الخليط ولا يفضل تجاوز هذه الفترة الزمنية أو إضافة أي زيادة من المصلد لان ذلك يؤدي إلى حدوث تصلب مفاجئ أو جعل لزوجة الخليط عالية جدا مما يعيق عملية الصب في القالب فضلا عن ذلك سوف يجعل المنتج النهائي حاويا على فقاعات هوائية تؤدي إلى فشل العينة ،إن التفاعل المسبب لتصلب الخليط هو تفاعل باعث للحرارة(Exothermic Reaction)

خلال عملية الربط التشابكي (Cross Linking Process) لذا يجب الخلط في أوعية ذات مساحة سطحية مناسبة وغير عازلة للحرارة لضمان انتقال حرارة التفاعل إلى المحيط الخارجي . تم استخدام مسحوق اوكسيد الزنك الغير قابل للذوبان في الماء والعديم الرائحة ذو حجم حبيبي(50µ) والموضحة خواصه في

وأداء تقني عالي لتقاوم الاجهادات الخارجية المؤثرة عليها والظروف البيئية المحيطة بها من ضغط ودرجة حرارة ورطوبة وغيرها، وهذا يعتمد على خواص المادة الأساس (Matrix Material) وخواص مواد التقوية(Reinforced Material) [2]. فالهدف من المواد المتراكبة هو الحصول على مواد تمتاز بمتانة جيدة وكثافة قليلة ومقاومة بلى ومقاومة كلال عالية وأداء عالي في درجات الحرارة العالية وعالية فأن الخصائص التي تتمتع بها المواد المتراكبة تعتمد بصورة رئيسية على خواص كل من المادة الأساس ومادة التقوية وكذلك طبيعة السطح البيني(Interface) الموجود بينهما .فالمواد المتراكبة ذات الأساس البوليمري تمتاز بخواص ميكانيكية وفيزيائية عالية لذلك أصبحت من أكثر المواد المتراكبة استخداما فتعد راتنجات البولي استر (Resins Polyester) من أكثر الأنظمة المرغوبة حاليا بسبب خواصها الجيدة [3].

إن مواد التقوية هي احد المكونات الأساسية للمواد المتراكبة حيث تضاف إلى المادة الأساس لغرض تقويتها وبالتالي تحسين مواصفاتها تكون هذه المواد وكما هو شائع من مواد عديدة منها السيراميكية أو المعدنية وحتى البوليمرية ، تصنف مواد التقوية اعتماداً على شكلها وإبعادها كالألياف(Fibres) (والتي تكون أما مستمرة أو مقطعة او حصىرة) والدقائق(Particles) أو التقوية بالقشور(Flakes) [2]، تعتبر الدقائق احد وسائل التقوية للمادة الأساس حيث يكون توزيعها عشوائيا من اجل الحصول على خواص ميكانيكية متناظرة وجيدة [4]. واعتمادا على حجم الدقائق المستخدمة في التقوية يمكن تصنيف التقوية بالدقائق إلى المواد المتراكبة الدقائقية المقواة بالتشتيت (Dispersion Strength Composite Materials) أو المقواة بالدقائق (Composite Materials Particles Strength) [5] ،ففي النوع الأول يكون قطر الدقائق (0.1µ) أو اصغر وبحجم تركيز(1-15%) إما المواد المقواة بالدقائق فهي مشابهة للتقوية بالتشتيت لكن تختلف بحجم الدقائق حيث يكون (1µ) أو اكبر

التقوية (مسحوق اوكسيد الزنك) مع الأخذ بنظر الاعتبار إن وزن المصلد هو ضمن وزن المادة الأساس (البولي استر غير المشبع) والذي يضاف بنسبة (2%) .

ثالثاً:- يتم مزج الكمية الموزونة من مادة البولي استر الغير مشبع مع المصلد بشكل مستمر وببطء وفي هذه المرحلة يتم إضافة مسحوق التقوية بصورة متقطعة إلى المزيج مع الاستمرار بعملية المزج ولمدة تتراوح من (15-10) دقيقة إلى إن يتجانس الخليط بصورة تامة بحيث يتم الحصول على عالق لزج متجانس مع ملاحظة وجود ارتفاع درجة حرارة الخليط مما يعني بدء عملية التفاعل، ومن المهم جداً إن يمتلك الخليط لزوجة جيدة لحماية الدقائق من الترسب الناتج من عدم التجانس للخليط والذي يؤدي إلى تكثف الدقائق بعد التصلب.

رابعاً:- يتم صب المزيج السائل على شكل جريان بسيط من احد جوانب القالب (لتجنب حدوث فقاعات هوائية داخل الصبة) بحث يسيل المزيج إلى كافة أجزاء القالب بصورة مستمرة مع الأخذ بنظر الاعتبار جعل القالب بالمستوى المطلوب لضمان استواء المزيج.

خامساً:- يوضع القالب على هزاز كهربائي لفترة زمنية مقدارها (10) دقائق للتخلص من الفقاعات الهوائية وكذلك لضمان تغلغل المادة الأساس في كل أجزاء القالب ، تترك العينة في القالب لإتمام عملية التصلب لمدة تتراوح بين (6-24) ساعة وبدرجة حرارة الغرفة.

سادساً:- يتم استخراج العينات من القالب ثم تجري لها عملية معالجة حرارية سريعة (Post Curing) في داخل فرن كهربائي (Electrical Oven) لمدة (90) دقيقة وبدرجة حرارة تبلغ (60C°) وذلك لغرض إكمال التفاعلات الكيميائية وللحصول على أفضل ترابط شبكي بين السلاسل البوليميرية، وإزالة الاجهادات المتولدة من عملية التصنيع.

سابعاً:- يتم تقطيع العينات حسب المواصفات القياسية لتكون جاهزة لإجراء الاختبارات الميكانيكية (اختبار الصدمة، الانحناء، والصلادة).

الجدول (1) وبكسور حجمية مختلفة هي (0%، 1%، 2%، 3%، 4%) تم صب العينات في قالب زجاجي ذي إبعاد (20×20×0.5 cm) بعد إن تم تغليف الوجه الداخلي للقالب (قاعدة القالب الزجاجية) بطبقة من ورق النايلون الحراري المصنوع من مادة كحول البولي فينيل لضمان عدم التصاق الراتنج بالقالب وتم استخدام السيلكون الحراري لسد الفراغات الموجودة في القالب مع المحافظة على نظافة القالب بصورة دقيقة لذلك تم مسح القالب بالكحول وتجفيفه قبل البدء بعملية الصب. والجدول (1) يوضح خواص البولي استر المستعمل في التجارب.

3- تحضير العينات:-

تم استخدام طريقة القولية اليدوية (Hand Lay Up) لتحضير العينات في هذا البحث وقد تم احتساب الكسر الحجمي لمكونات المادة المترابطة المحضرة بالاعتماد على العلاقات التالية [6]:-

$$V_p = \frac{v_p}{v_c} \rightarrow v_p = \frac{m_p}{\rho_p}$$

$$V_m = \frac{v_m}{v_c} \rightarrow v_m = \frac{m_m}{\rho_m}$$

حيث إن

m_p, m_m : كتلة الدقائق والمادة الأساس

على التوالي (gm)

v_c, v_m : حجم المادة المترابطة والمادة

الأساس والدقائق (cm³)

ρ_p, ρ_m : كثافة الدقائق والمادة الأساس

على التوالي (gm/cm³)

V_p, V_m : الكسر الحجمي للدقائق والمادة الأساس

اما عملية صب وتحضير العينات يمكن تلخيصها بالخطوات الآتية :-

أولاً:- تهيئة مواد التقوية بوزن الكمية المطلوبة من المسحوق وحساب الكسر الحجمي لها والبالغ (0%، 1%، 2%، 3%، 4%) باستخدام الميزان حساس ذو دقة مقدارها أربعة مراتب عشرية.

ثانياً:- يتم وزن كمية من مادة البولي استر غير المشبع بالاعتماد على الكسر الحجمي لمادة

$$E_b = \frac{FL^3}{48I\delta} \quad \dots\dots(1)$$

حيث ان:

F: القوة المسلطة على العينة (N)

L: طول العينة بين المسندين (المسافة بين المرتكزين) (m)

δ : التشوه الحاصل في العينة نتيجة تسليط الحمل (m)

I: عزم القصور الذاتي للمقطع العرضي للعينة (m^4) التي عرضها (b) وسمكها (d) من خلال تطبيق العلاقة التالية :- [8].

$$I = \frac{bd^3}{12} \quad \dots\dots(2)$$

الخاصة بهذا الاختبار، وقد تم تحضير عينات الانحناء بأبعاد قياسية مقدارها (96×10×4.8mm) حسب المواصفات القياسية العالمية للعينة [9].

بتسليط الحمل بصورة تدريجية باستخدام الرأس المدبب عند منتصف العينة المثبتة من طرفيها على مرتكزين لحين حصول الفشل فيها، من خلال اختبار الانحناء يمكن إيجاد أقصى متانة الانحناء (Flexural Strength) والتي تعرف بأنها مقاومة المادة لاجهادات الانحناء الخارجية عند تعرضها لأحمال مركزية مختلفة لحين حصول الكسر فيها وتقاس متانة الانحناء (F.S) بوحدة MPa والتي يمكن استخراجها من العلاقة التالية :- [8]

$$F.S = \frac{3FL}{2bd^2} \quad \dots\dots(3)$$

حيث ان

P: القوة عند حدوث الكسر في العينة (N)

L: طول العينة بين المسندين (المسافة بين المرتكزين) (m)

d: سمك العينة (m)

b: عرض العينة (m)

كذلك يمكن إيجاد أقصى إجهاد للقص (Shear Stress) والذي يقاس

• عينات وجهاز اختبار الانحناء :

لغرض دراسة سلوك الانحناء للعينات المحضرة تم إجراء اختبار الانحناء الثلاثي النقاط (Three Point Bending Test) بواسطة جهاز الانحناء المصنع من قبل شركة (Phywe) الألمانية حيث يتم تثبيت العينة على نقطتي ارتكاز ويعلق ثقل بأوزان محسوبة في منتصف العينة بين المسندين لقراءة مقدار الانحناء الخاص بكل عينة ويستمر تطبيق الحمل المسلط لغاية الحصول على أقصى تشوه للعينة وبذلك يتم الحصول على معلومات للقوة المسلطة على العينة ومقدار التشوه الحاصل فيها من نقطة البداية وذلك عن طريق مؤشرات موجودة في الجهاز ومن خلال هذه المعلومات نحصل على منحنى (القوة/التشوه)، (Load/Deflection) وبذلك ويمكن حساب معامل مرونة الانحناء الذي يقاس بوحدة (MPa) من العلاقة التالية :- [7]

• عينات وجهاز اختبار الصلادة

تم قياس صلادة العينات بطريقة (Shore D) وهذه الطريقة ملائمة للمواد البوليمرية المصلدة حرارياً والعينة المستخدمة في هذا الاختبار يجب إن تمتلك سطح أملس (صقيل) ومستوي وبسمك لا يقل عن (3mm) وان لا يكون قد تعرض الى اهتزازات ميكانيكية سابقاً وبقطر أكبر من (30mm) لذا فقد تم استخدام عينة بقطر (40mm) وبسمك (4mm) وهذه الأبعاد مأخوذة حسب مواصفات الجهاز الخاضع للمواصفات الألمانية، وان الضغط المسلط حسب المواصفات (DIN 53505) ويساوي (50 نيوتن) أي مايعادل (5kp) بالنسبة لصلادة (Shore D).

• عينات وجهاز اختبار متانة الانحناء

لغرض إجراء اختبار متانة الانحناء للعينات والتي تم تقطيعها وفقاً للإبعاد القياسية المأخوذة من المواصفات العالمية [9]، فقد تم إجراء اختبار الانحناء الثلاثي النقاط باستخدام جهاز المكبس الهيدروليكي المتعدد الأغراض نوع (Leybold Harris No.36110)، وذلك

لمقاومة المادة للكسر تحت تأثير الإجهاد الخارجي المسلط عليها بصورة فجائية، أو بعبارة أخرى مقدار الطاقة الممتصة من قبل المادة قبل حصول الكسر فيها عند تعرضها إلى حمل فجائي [8].

2. متانة كسر المادة Fracture Toughness

يمكن الحصول عليها من العلاقة التالية :- [7]

$$K_{Ic} = \sqrt{G_c E_b} \dots\dots\dots(6)$$

حيث ان

K_{Ic} : متانة الكسر للمادة ($N/mm^{3/2}$)

G_c : معامل الانحناء للمادة (J/m^2)

E_b : معامل الانحناء للمادة (MPa)

ان المواد البوليمرية مثل البولي استر والايوكسي والبولي اميدات تعطي مقاومة ومعامل مرونة عاليين ولكنها في نفس الوقت تكون ذات هشاشة عالية جداً وبذلك فان متانة الكسر لها واطنة جداً [10].

وقد استخدمت عينات الصدمة بأبعاد قياسية ($55 \times 10 \times 4$ mm)، وبدون وجود أي حز في العينة المستخدمة [9] وباستعمال طريقة شاربي لاختبار الصدمة (Charpy Impact Test)، وقد تم استخدام جهاز الصدمة من نوع :- (Izod Charpy Tension Impact Test Instrument) والمصنع من قبل شركة .

(Testing Machines , Inc , Amityville New York)

إلى إجهاد سريع . الشكل (1-1) والجدول (2) يمثل قيم معاملات المرونة الانحنائي (معامل مرونة الانحناء) حيث نلاحظ أن قيم معامل مرونة الانحناء تتزايد مع زيادة الكسر الحجمي وذلك نظراً لما تتمتع به دقائق اوكسيد الزنك من معامل مرونة ثنائي عالي (Flexural Modulus مقارنة بمعامل مرونة البولي استر، ان وجود دقائق باحجام صغيرة داخل مادة الاساس تسهل من عملية تغلغلها وكذلك تبللها وهي في الحالة السائلة وهذا يؤدي الى زيادة

بوحد (MPa) من العلاقة التالية [7]

:-

$$\tau_{max} = \frac{3P}{4bd} \dots\dots(4)$$

حيث ان

p: القوة عند حدوث الكسر (اقصى

حمل مسلط) (N)

d: سمك العينة (m)

b: عرض العينة (m)

• عينات وجهاز اختبار الصدمة

يعتبر اختبار الصدمة مهم جداً من الناحية العملية لان من خلاله يمكن حساب الطاقة الممتصة اللازمة لكسر العينة G_c المعروفة بالصلابة في البحث (U_c)، حيث تعطى هذه القيمة مباشرة من جهاز الفحص والتي من خلالها يمكن حساب متانة الكسر للمادة وحساب مقاومة الصدمة لها حسب العلاقتين التاليتين [9]:

1. مقاومة الصدمة للمادة Impact Strength

ونستخرج من العلاقة التالية:-

$$G_c = \frac{U_c}{A} \dots\dots\dots(5)$$

حيث ان:

G_c : مقاومة الصدمة للمادة (J/m^2)

U_c : الطاقة اللازمة لكسر العينة (J)

A: مساحة المقطع العرضي للعينة (m^2)

حيث إن مقاومة الصدمة تعتمد على عدة متغيرات منها :- نوع المادة المتراكبة ونوع الإجهاد المسلط على العينة وظروف التصنيع والظروف البيئية والشكل الهندسي للعينة وإبعادها [2]، وتعتبر مقاومة الصدمة مقياساً

4- النتائج والمناقشة

• اختبار الانحناء:-

إن الهدف الرئيس في اختبار الانحناء هو التعرف على السلوك الخطي للمادة الواقعة تحت تأثير الإجهاد المسلط على السطح الخارجي بصورة عمودية ويختلف اختبار الانحناء عن اختبار الصدمة بمقدار سرعة الإجهاد الذي تتعرض له العينة تحت الاختبار. ففي اختبار الانحناء تتعرض العينة إلى إجهاد بطيء بينما تتعرض العينة في اختبار الصدمة

مساحة الترابط البيني مابين مادة الاساس ومواد التقوية (دقائق ZnO) مما يزيد من قوة الترابط بعد تصلبها وفي النهاية تزيد من معامل مرونة الشيء .

● اختبار متانة الانحناء وإجهاد القص :-

يعتبر اختبار متانة الانحناء من الاختبارات المعقدة لان العينة تتعرض إلى عدة اجهادات في نفس الوقت هي اجهادات الشد الذي يحصل عند السطح الخارجي للعينة وإجهاد الضغط الذي يحصل على السطح الداخلي للعينة وإجهاد القص الذي يحدث عند السطح البيني لها، وتفشل المادة المترابطة بتأثير احد هذه الاجهادات الثلاثة اعتمادا على نوع مادة التقوية وقوة الربط بينها وبين المادة الأساس [10]، الجدول (2) الشكلين (1-2)، (1-3) نلاحظ بان قيم متانة الانحناء وقيم إجهاد القص الأعظم تزداد عند إضافة مسحوق اوكسيد الزنك إلى المادة الأساس وذلك نتيجة لما يتمتع به دقائق اوكسيد الزنك من مقاومة عالية تجاه الإجهاد الانضغاطي والقصي ولكن زيادة الكسر الحجمي لمسحوق (ZnO) قلل من قابلية الترتيب (Wet Ability) داخل المادة الأساس مما يجعلها كمراكز لتركيز الاجهادات فتزداد عندها العيوب والتشققات وبذلك سوف يضعف الترابط بين المادة الأساس ومواد التقوية مما يؤدي إلى فشل العينة بشكل نهائي [11]، ان زيادة قيم متانة الانحناء وقيم الاجهاد القصي يعود الى صغر الحجم الحبيبي لدقائق ZnO الذي يسهل تبلل المادة الاساس لمواد التقوية مما يؤدي الى زيادة مساحة التلامس بين مكونات المادة المترابطة المحضرة ومن ثم زيادة قوة الترابط بينهما وفي النهاية زيادة قابليتها لتحمل الاجهادات الخارجية

● اختبار الصلادة :-

اغلب اختبارات الصلادة تعتمد على مقاومة المادة للاختراقات عند سطحها الخارجي وهنالك طرق مختلفة تمثل دليل الصلادة، ففي هذا البحث تم إجراء فحص الصلادة باستخدام (Shore D) نوع (Shore D) ، من الجدول (2) والشكل (1-4) يلاحظ ان قيم

الصلادة للعينات تزداد مع زيادة الكسر الحجمي لدقائق اوكسيد الزنك وذلك لما تتمتع به هذه الدقائق من صلادة عالية ، حيث نلاحظ ان قيم الصلادة زادت عند زيادة الكسر الحجمي وبما ان الصلادة صفة لسطح المادة ونظراً لوجود دقائق اوكسيد الزنك عند سطح المادة وما تمتلكه تلك الدقائق من هشاشة عالية فان مقاومتها للقوة المسالطة عليها تكون قليلة حسب الكسور الحجمية المستخمة لذلك فان الزيادة في قيم الصلادة تكون قليلة بزيادة الكسر الحجمي لدقائق ZnO.

● اختبار الصدمة :-

في اختبار الصدمة تتعرض المادة إلى حمل حركي سريع جدا ، وقد تم إجراء اختبار الصدمة للعينات بطريقة جاريبي عند درجة حرارة الغرفة ، وقد لوحظ خلال الاختبار ان العينات المدعمة بالدقائق تعاني كسراً هشاً عند منطقة ارتطام العينة بالبندول والشكل (1-5) يمثل تأثير الكسر الحجمي لمسحوق اوكسيد الزنك على مقاومة الصدمة لمادة متراكبة ذات أساس من البولي استر غير المشبع مقواة بالمسحوق ، حيث نلاحظ ان قيمة مقاومة الصدمة تتناقص مع زيادة الكسر الحجمي لمسحوق اوكسيد الزنك نظراً لما تتمتع به دقائق المسحوق من ضعف في قابلية مقاومتها للصدمة وصفة الهشاشة بالمقارنة مع المادة الأساس وكذلك ان مقاومة الصدمة لمسحوق اوكسيد الزنك اقل من مقاومة الصدمة للبولي استر .

أما قيمة متانة كسر الصدمة فتزداد بزيادة الكسر الحجمي لمسحوق اوكسيد الزنك والتي يمكن ملاحظتها من خلال الجدول (2) والشكل (1-6) وتعزى الزيادة في طاقة الكسر للمادة المترابطة المحضرة إلى تحمل مواد التقوية جزءاً من الإجهاد الصدمي وذلك لزيادة الترابط بين المادة الأساس ومواد التقوية نتيجة لزيادة قابلية التبلل بين دقائق المسحوق مما يؤدي ذلك الى زيادة الطاقة اللازمة لكسر العينة كما وتعمل دقائق المسحوق كمعوقات لتقدم الكسر وتعتمد هذه الإعاقة على مدى قوة الترابط للسطح البيني بين مواد التقوية ومادة الأساس وذلك لانتقال الكسر خلال السطح البيني

Materials, Vol.13, No.1,
January, (2006).

[4] W.D. Callister, "Materials Science & Engineering An Introduction" John Wiley & Sons, Inc, 6th Ed, (2003).

[5] S. Wacharawichanant, "Effect of Zinc Oxide on Morphology and Mechanical Properties of Polyoxy methylene / Zinc Oxide Composites", Journal of Advances in Petrochemicals & Polymers, Vol.264, (2008).

[6] Mikell P. Groover, "Fundamentals of Modern Manufacturing", 4th Edition, John Wiley & Sons Inc, (1997).

[7] Daniel & Ishai, "Engineering Mechanics of Composite Materials", APMC University of Plymouth, (2006).

1. أ.د. خضير الحيدري " اختبارات المواد الهندسية " دائرة المعنز للنشر والتوزيع، الطبعة الاولى، (2005).

[9] William D. Callister 6 Edition, R.H.Krock, ASTM, proc, Vo 63, (1963).

[11] A.C Moloney, H. H. Kauschw and H. H. Beer and H.R. Beer, "Review Parameters Determining the Strength & Toughness of Particulate filled Epoxide Resins", Journal of materials science, Vol. 22. No.2, (1987).

[12] P.R.Marur, R.C.Batra, G.Garcia & A.C.Loos, "Static & Dynamic Fracture Toughness of

حول دقائق مسحوق اوكسيد الزنك في حالة عدم فشل الدقائق [12], علاوة على اعتماد هذه العلاقة على نسبة الكسر الحجمي للدقائق وشكلها وحجمها ونظام توزيعها ضمن المادة الأساس .

5- الاستنتاجات:

1- إن زيادة الكسر الحجمي لمسحوق اوكسيد الزنك المضاف إلى المادة المتراكبة المحضرة من البولي استر غير المشبع كمادة أساس أدى إلى زيادة قيم بعض الخواص الميكانيكية التي أجريت في البحث حيث كانت أعظم قيمة لكل من معامل المرونة (4.863 GPa)، متانة الانحناء (356.141 MPa)، متانة الكسر (10.302 GPa) على إجهاد القص (3.95 GPa) التوالي .

2- إن زيادة الكسر الحجمي لدقائق اوكسيد الزنك المضاف إلى المادة الأساس أدى إلى زيادة قليلة في قيم الصلادة للعينات المادة المتراكبة المحضرة.

3- إن زيادة الكسر الحجمي لدقائق اوكسيد الزنك المضاف إلى المادة الأساس أدى إلى انخفاض في قيم مقاومة الصدمة.

5-المصادر:

[1] Brain S. Mitchell, "An Introduction to Materials engineering & Science for chemical Materials engineering" 1th Edition, John Wiley & Son, Inc, (2004).

[2] D.D.L .Chungm "Composite Material Science and Application", Second Edition, Springer Verlag, London, (2010).

[3] Christophe Baley, Y. Perrot, Peter, Davies, "Mechanical Properties of Composites Based on Low Styrene Emission Polyester Resins for Marine Application", Journal of Applied Composite

of Polymethyl Methacrylate"
Journal of Applied Polymer
Science, Vol.22,(1978).

Epoxy/Alumina Composite with
Submicron Inclusions", Journal
of Materials
Science, Vol.39,(2004).

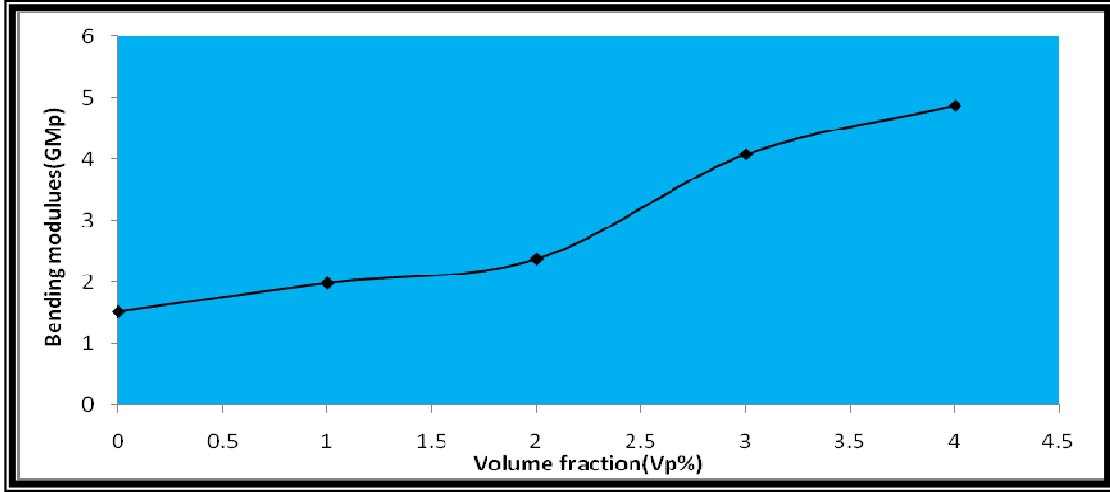
[13] K. Isaka &K. Shibayama,
"Effect of Filler Particle Size on
Dynamic Mechanical Properties

جدول (1) يبين خصائص المادة الاساس (البولي استر غير المشبع) ومادة التقوية (ZnO) المستخدمة في
البحث حسب مواصفات الشركة المنتجة.

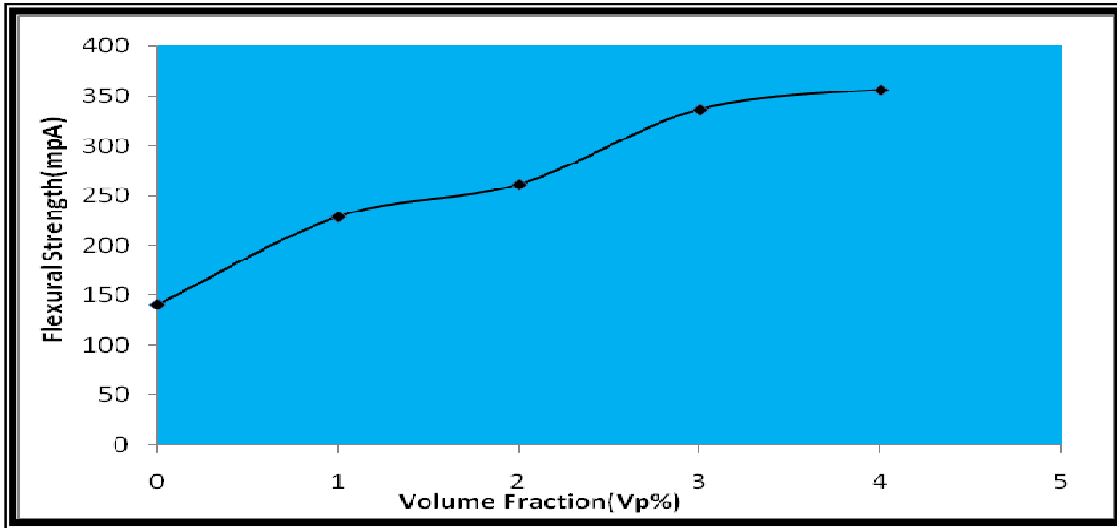
Name	Density (gm/cm ³)	Specific Heat (J/Kg.k)	Fracture Toughness (MPa.m ^{0.5})	Tensile strength (MPa)	Percent Elongation (EL%)	modulus of elasticity (GPa)
polyester Resin	1.2	920-710	0.6	89.7-41.4	< 2.6	4.11-2.06
ZnO	5.6	530	10-25	82	1.2	38-32

جدول (2) يوضح نتائج فحوصات الخواص الميكانيكية التي تم الحصول عليها للمادة المتراكبة المحضرة في
البحث

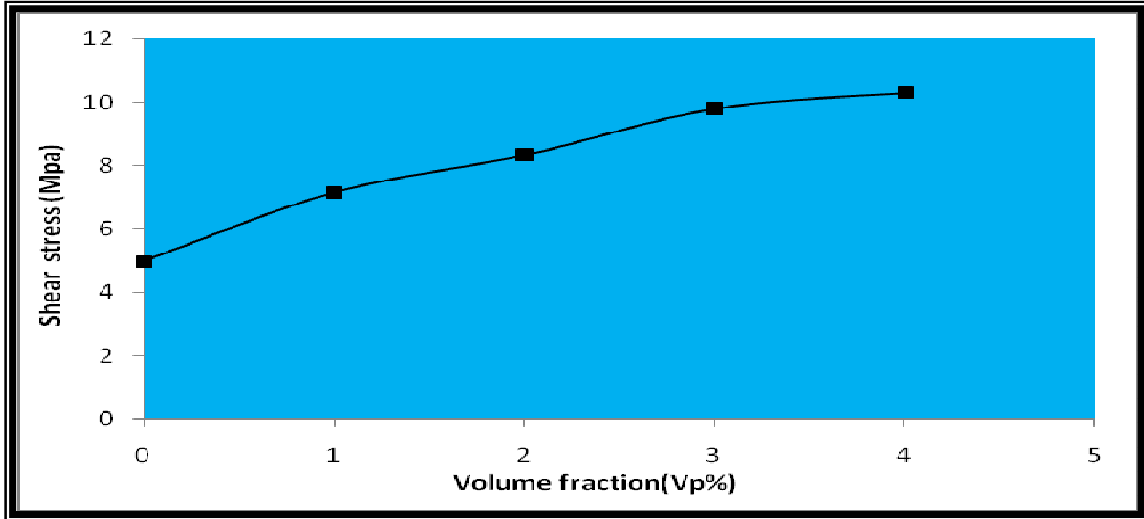
متانة كسر الصدمة K _c (MPa)	مقاومة الصدمة G _c (m ² /K.J)	الصلادة (Shore-D)	إجهاد القص (MPa)	متانة الانحناء (MPa)	معامل المرونة الانحناء (GPa)	الكسر الحجمي لمسحوق ZnO (Vf%)
2.85	4.21	84.4	4.98	141.363	1.509	0
2.61	3.4	86.2	7.152	229.189	1.973	1
2.86	2.8	86.7	8.332	261.594	2.364	2
3.47	2.2	87.1	9.802	336.692	4.073	3
3.95	1.906	87.7	10.302	356.141	4.863	4



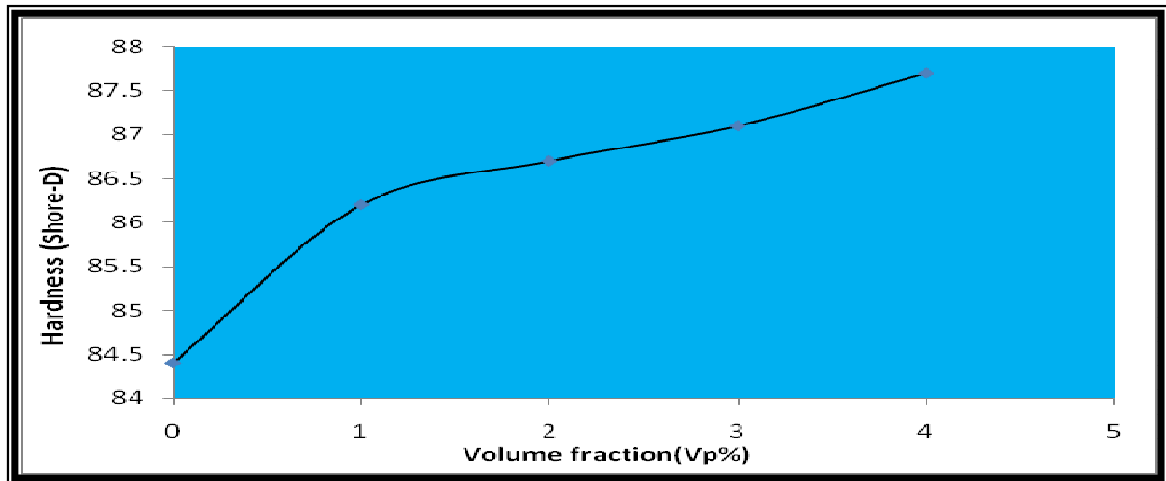
شكل (1-1) يوضح تأثير الكسر الحجمي لمسحوق ZnO على معامل مرونة الانحناء لمادة متراكبة ذات أساس من البولي استر غير مشبع.



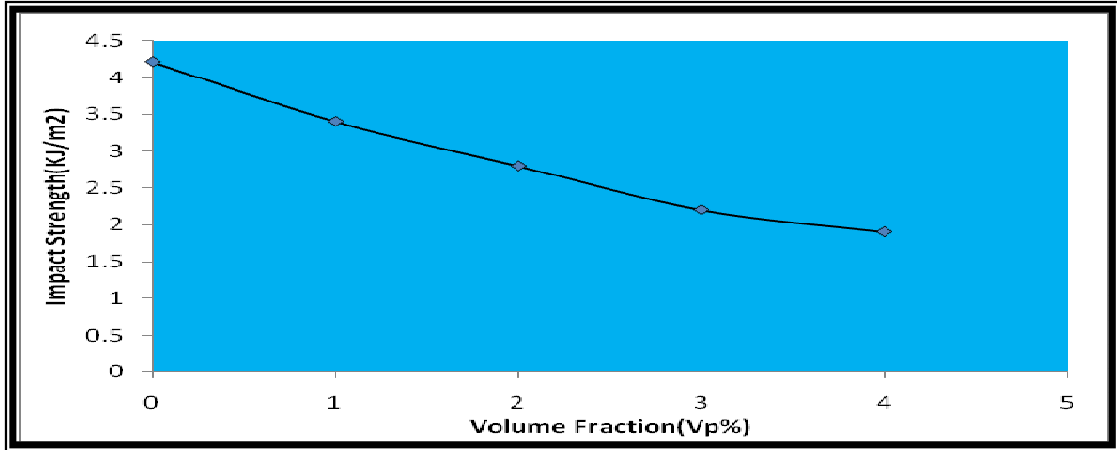
شكل (2-1) يوضح تأثير الكسر الحجمي لمسحوق ZnO على قيم متانة الانحناء لمادة متراكبة ذات أساس من البولي استر غير مشبع.



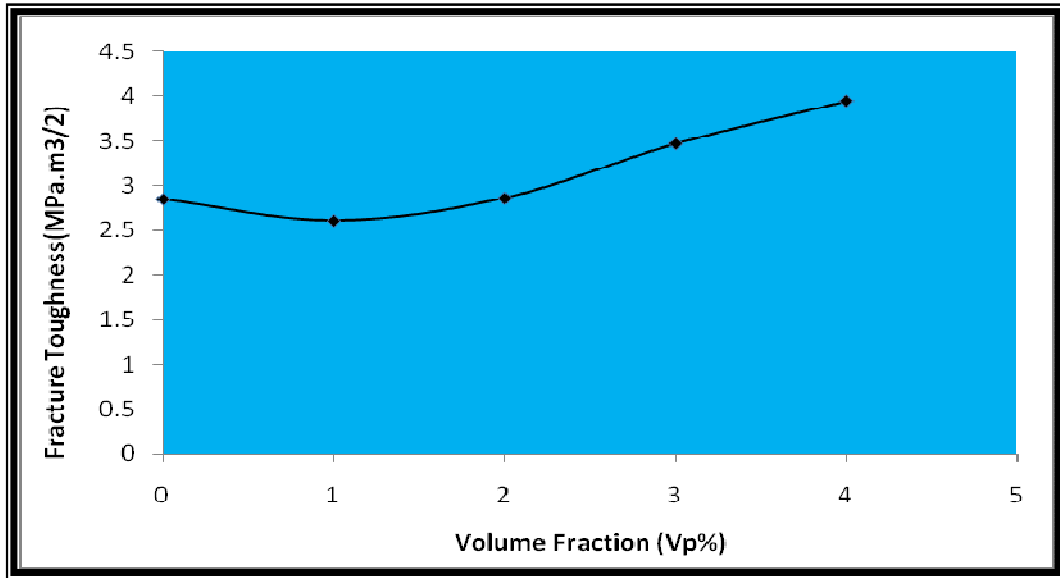
شكل (3-1) يوضح تأثير الكسر الحجمي لمسحوق ZnO على قيم اجهاد القص لمادة متراكبة ذات أساس من البولي استر غير مشبع.



شكل (4-1) يوضح تأثير الكسر الحجمي لمسحوق ZnO على قيم الصلادة لمادة متراكبة ذات أساس من البولي استر غير مشبع.



شكل (5-1) يوضح تأثير الكسر الحجمي لمسحوق ZnO على مقاومة الصدمة لمادة متراكبة ذات أساس من البولي استر غير مشبع



شكل (6-1) يوضح تأثير الكسر الحجمي لمسحوق ZnO على متانة الكسر لمادة متراكبة ذات أساس من البولي استر غير مشبع.