

## تأثير الحجم الحبيبي في بعض الخواص الميكانيكية لمواد متراكبة بوليميرية متدرجة وظيفياً مصنعة بطريقة الطرد المركزي

أحمد أكرم عبد الله  
جامعة الموصل/ كلية الهندسة / قسم الهندسة الميكانيكية

ا.م. عواد هלוوش خضر

### الخلاصة

تم في هذا البحث انتاج مواد متراكبة بوليميرية متدرجة وظيفياً (FGPCs) مادتها الاساس البولوي استر غير المشبع (Unsaturated Polyester Resin) ومعززة بدقائق من كربيد السليكون ( $\text{SiC}_p$ ) بكسر حجمي كلي (%) (6Vol) وحجوم حبيبية مختلفة ( $75,106,150 \mu\text{m}$ ) ومصنعة بطريقة الطرد المركزي وبسرعة دورانية (600 RPM) وبدرجة حرارة الغرفة ( $22^\circ\text{C}$ ) فضلاً عن انتاج أنموذج من البولوي استر النقي وبالظروف نفسها لغرض المقارنة. تم دراسة تأثير تغير الحجم الحبيبي للدقائق في القيم الموضعية للكسر الحجمي والصلادة ومعامل المرونة للنماذج المصنعة وفي نقاط محددة على طول كل أنموذج متدرج . تم قياس الصلادة في هذه النقاط ومن ثم تقطيع كل انموذج متدرج الى ثمانية قطع وتحديد كثافتها وحساب كسرها الحجمي و انتاج نماذج متجانسة قياسية لغرض اختبار الشد. اظهرت نتائج البحث انخفاض القيم الموضعية للكسر الحجمي والصلادة ومعامل المرونة في المواضع القريبة من مركز دوران القالب وارتفاع هذه القيم في المواضع البعيدة عن مركز دوران قالب الطرد المركزي مع زيادة الحجم الحبيبي للدقائق.

## Effect of Particle Size on Some Mechanical Properties of Functionally Graded Polymeric Matrix Composite Produced by Centrifugal Casting

Ahmed Akram Abdullah

Awad Hallosh Khidhir

Assistant Professor

University of Mosul/Collage of Eng./Mech. Eng. Dep.

### Abstract

In this research a functionally graded polymeric composites (FGPCs) were produced using centrifugal casting method . These composites were fabricated from unsaturated polyester resin as a matrix reinforced with silicon carbide particles ( $\text{SiC}_p$ ) of different particle size ( $75,106,150 \mu\text{m}$ ) and (6 vol%)bulk volume fraction, using (600 RPM) mold rotational speeds . The aim of the present research was to study the effect of ( $\text{SiC}_p$ )particle size on local values of volume fraction ,hardness and Young modulus at specific points along the graded samples. Hardness was measured at these points then graded samples were cut to eight portions . Density , volume fraction were calculated, then standard homogenous samples of constant but different volume fractions were manufactured. Results show that local values of volume fraction, hardness and young modulus decreased in nearby positions of the center of rotation and increased in positions far away from the center of rotation.

Key words: Functionally graded polymeric Matrix composite, Unsaturated Polyester Resin, hardness, modulus of elasticity.

## 1. المقدمة:

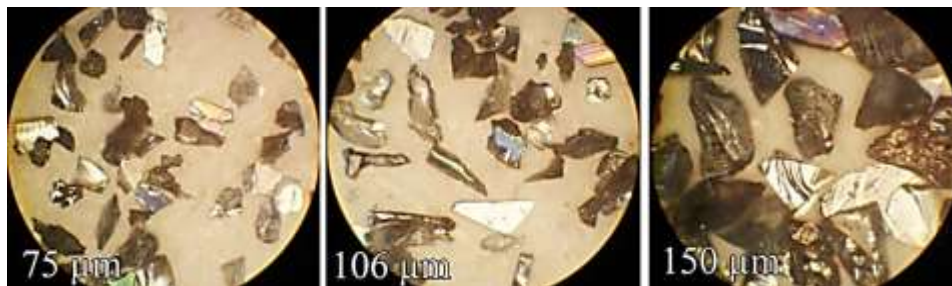
المواد المترابطة البوليميرية المتدرجة وظيفياً (FGPC) هي نوع أو فئة خاصة من المواد المترابطة المتدرجة وظيفياً (FGMs) والتي يكون فيها أحد المكونات على الأقل مادة بوليميرية، غالباً ما تستعمل الراتنجات المتصلبة حرارياً (Thermosetting Resin) أو اللدنة حرارياً (Thermoplastic Resin) كمادة أساس في هذا النوع من المواد المترابطة. تمتلك مادة الأساس البوليميرية عدة صفات تميزها من غيرها من المواد، إذ تتميز بكثافتها المنخفضة ومقاومتها للظروف والتأثيرات الجوية ومقاومتها للبيئة القاسية وخصائصها الحرارية والكهربائية وارتفاع مقاومتها النوعية الميكانيكية (Specific Mechanical Strength) [1].

حيث قام الباحث (R.J. Butcher, 1998) بإنتاج مواد مترابطة بوليميرية متدرجة وظيفياً مادتها الأساس من الايوكسي ومعززة بدقائق الزجاج الكروية وإيجاد الكسر الوزني في نقاط محددة على طول الأنموذج المتدرج ولغرض إيجاد معامل المرونة قام الباحث بتصنيع نماذج متجانسة قياسية وبكسور وزنية مختلفة مقابلة لكسور وزنية في مواضع محددة على طول الأنموذج المتدرج وجد الباحث زيادة في معامل المرونة مع زيادة الكسر الوزني الموضوعي للدقائق [2].

درس الباحث (Saad M. Elia, 2011) تأثير إضافة مسحوق من عقيدات البحر (Sea Nodules) بأحجام حبيبية مختلفة (53,75,106µm) وكسور حجمية مختلفة (3,6,9,12%) في الخواص الميكانيكية لراتنج البولي استر غير المشبع حيث وجد الباحث زيادة في قيم صلادة (Shore D) مع زيادة الكسر الحجمي للدقائق وانخفاض في قيم الصلادة مع زيادة الحجم الحبيبي [3].  
ان الهدف من هذا البحث هو دراسة تأثير تغير الحجم الحبيبي لدقائق كربيد السليكون في القيم الموضوعية للصلادة ومعامل المرونة.

## 2. الجانب العملي:

تم استخدام راتنج البولي استر غير المشبع (Unsaturated Polyester Resin) والمصنع من قبل شركة (Poliya Composite Resins and Polymers, Inc.) التركيبية نوعه (Polipol-3455)، وهو من البوليمرات المتصلبة حرارياً ويكون بشكل سائل لزج شفاف حاوٍ على نسبة من الكوبلت (Cobalt Pre-accelerated) مسبقاً الخلط. يخلط مع المصلب بيروكسيد ميثيل اثيل كيتون (Methyl Ethyl Ketone Peroxide MEKP) المنتج من قبل شركة (Akpa Organic Peroxides, Initiators & Paint Driers) التركيبية نوعه (Akperox A1) وهو سائل شفاف أقل لزوجة من الراتنج ويخلط وبنسبة (2 g) من المصلب لكل (100 g) من راتنج البولي استر غير المشبع.  
تم استعمال دقائق كربيد السليكون (Silicon Carbide) كمادة معززة، رمزها الكيميائي (SiC) وتعرف تجارياً باسم كربورندم (Carborundum) والشكل (1) يوضح صورة مجهرية للدقائق المستعملة في البحث.



الشكل (1): دقائق كربيد السليكون المستعملة في البحث بأحجامها الثلاثة (X100).

من أجل إنتاج مواد متراكبة متدرجة وظيفياً مصنعة بطريقة الطرد المركزي بحيث تخضع النماذج المصنعة جميعها للظروف نفسها (أثناء عملية دوران القالب) من حيث الاهتزاز ، ودرجة الحرارة ، وزمن الدوران وسرعته. تم تصميم القالب الموضح بالشكل (2). إذ يمكن بوساطة هذا القالب إنتاج ستة نماذج متدرجة وظيفياً في وقت واحد وبالظروف نفسها.

يتكون هذا القالب من ثلاث طبقات ، الطبقة الوسطى تحتوي على الألياف التي سوف تشكل النموذج والطبقة العليا تحتوي على فتحات دخول المزيج إلى الطبقة الوسطى . ترتبط الطبقات مع بعضها البعض لتشكل قالب واحد يثبت على محرك كهربائي ذي تيار مستمر. والشكل (2) يوضح مخططات وأبعاد قالب الطرد المركزي وأبعاد النموذج المنتج من خلاله.

يثبت القالب الموضح في الشكل (2) على محرك كهربائي يتم السيطرة على سرعته عن طريق منظم فولتية . الشكل (3) يوضح المخطط العالم لمنظمة السباكة بالطرد المركزي المستعملة في البحث حيث تتكون من وحدة تجهيز المنظومة بالطاقة (UPS) في حالة انقطاعها ووحدة تثبيت الفولتية (AVR) ووحدة السيطرة على سرعة المحرك (Volt Regulator) ووحدة تحويل الفولتية من متناوبة إلى مستمرة (Bridge Rectifier) لتكون مناسبة لعمل المحرك.

بعد حساب وزن كل مكون من مكونات النموذج يتم خلط الراتنج (Resin) لوحده مع الدقائق يدويا وبسرعة عالية ولمدة خمس دقائق لضمان ترطيب كافة أسطح الدقائق بالراتنج والحصول على مزيج متجانس ، علماً ان سرعة الخلط العالية تؤدي إلى دخول فقاعات الهواء داخل المزيج [1] .

تؤدي فقاعات الهواء دوراً مهماً في تحديد الخواص الميكانيكية للنموذج المصنوع، لذلك أصبح من الواجب التخلص منها بقدر الإمكان وفي هذه الدراسة اتبعت ثلاث طرائق لإزالة فقاعات الهواء:

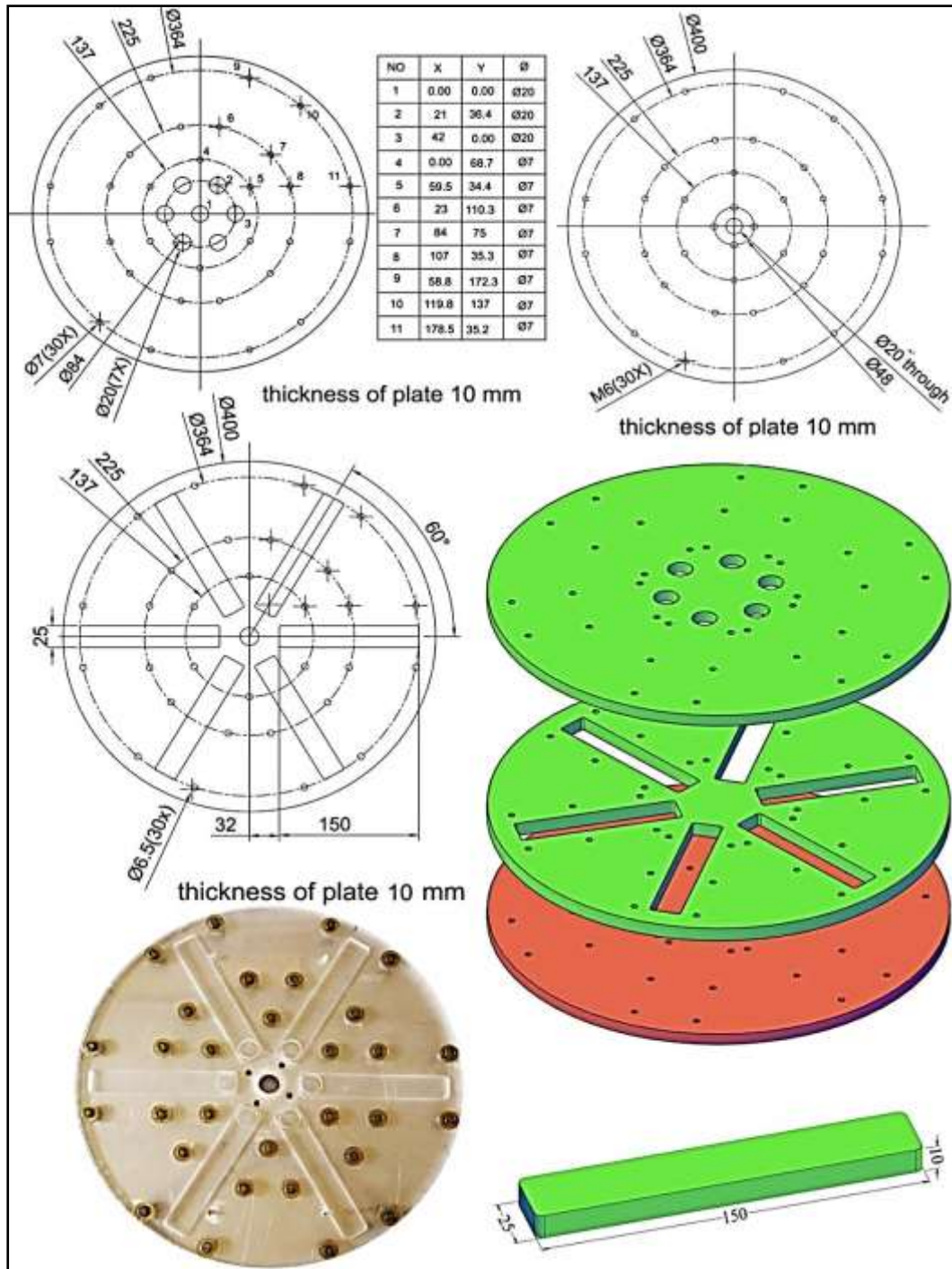
اولاً : تقليل لزوجة الراتنج عن طريق رفع درجة حرارته إلى (40 °C) أثناء عملية خلطه مع الدقائق وبعدها ، إن خفض لزوجة الراتنج يسهل صعود فقاعات الهواء نحو الأعلى نتيجة تقليل قوة اللزوجة المعاكسة لقوة طفو الفقاعات الهوائية لكن من مساوئ هذه الطريقة ترسب الدقائق في قاع علبة الخلط ويمكن حل هذه المشكلة برفع اللزوجة بعد خروج فقاعات الهواء وإعادة الخلط ولكن ببطيء شديد.

ثانياً: بعد إكمال خلط الراتنج بالدقائق وتقليل لزوجة الراتنج توضع علبة الخلط في وعاء محكم الغلق ويتم إفراغه من الهواء عن طريق ربطه بجهة السحب من ضاغط كهربائي تستمر هذه العملية لمدة ساعة كاملة تبقى فيها علبة الخلط الحاوية على الراتنج والدقائق داخل هذا الوعاء والشكل (4) يوضح الأسلوب المتبع.

ثالثاً : أثناء عملية تفريق الوعاء السابق من الهواء يوضع على جزء هزاز ، إذ تساعد الاهتزازات على تسريع خروج الفقاعات من المزيج . ولمعرفة تأثير الطرائق سابقة الشرح في وجود الفقاعات الهوائية (Porosity) في نماذج المواد المتراكبة المتدرجة المصنعة تم اخذ صور مجهرية لأكثر المناطق التي يتوقع وجود الفقاعات فيها وهي المناطق ذات الكسر الحجمي الموضعي الأكبر عند النهايات البعيدة للنماذج المصنعة عند السرعة (600 R.P.M) وكسر حجمي للنموذج (6 vol%) وعلى بعد (14 cm) من النهاية القريبة من مركز الدوران وللحجوم الحبيبية الثلاثة (75µm, 106µm, 150µm) والشكل (5) يوضح خلوها من الفقاعات الهوائية [4].

بعد الحصول على مزيج خالٍ تقريباً من الفقاعات الهوائية تقريباً يتم إضافة المصلب وتبدأ عملية التحريك البطيء جداً لمدة خمس دقائق للحصول على مزيج متجانس وتجنب أية محاولة لدخول فقاعات الهواء مرة ثانية [1] . يصب المزيج المتجانس الخالي من الفقاعات الهوائية في القالب. ويتم تشغيل المحرك الذي سبق ضبط سرعته ليدير وبسرعة (600 RPM) ولمدة (30) ثانية . تترك النماذج داخل القالب لمدة (24) ساعة لضمان اكتمال تصلب النماذج داخل القالب [5]. بعدها يفتح القالب وتستخرج النماذج .

توضع النماذج بعد استخراجها من القالب في فرن كهربائي درجة حرارته (55-60 °C) ولمدة ساعتين لإكمال عملية البلمرة وإزالة الإجهادات المتولدة في النماذج نتيجة التصلب [6]. في هذه البحث وضعت النماذج في فرن كهربائي من إنتاج شركة (Electric Muffle) الكورية موديل (RKB101) يتم السيطرة على درجة حرارته الكترونياً. بعدها تم إخراج النماذج من الفرن وتوحيد أبعادهم. الشكل (6) يوضح نماذج المواد المتراكبة متدرجة وظيفياً المصنعة في هذا البحث بكسر حجمي كلي للدقائق (6 vol%) وسرعة دورانية (600 R.P.M) وبثلاثة أحجام حبيبية مختلفة لدقائق كربيد السليكون هي (75, 106, 150µm).



الشكل (2): قالب الطرد المركزي والأنموذج المصنع في البحث الحالي (mm).

تم قياس صلادة النماذج المتراكبة عند كل (1cm) وعلى طول الأنموذج وتم الاعتماد على اخذ معدل ثلاث قراءات من سطح الأنموذج عند كل (1cm) وثلاث قراءات من قاع الأنموذج عند كل (1cm) وباستعمال الجهاز (ShoreD) من انتاج شركة (Zwick) السويسرية موديله (Werk-Nr.68733) ووفق المواصفة القياسية العالمية (ASTM D2240-02 Standard Test Methods for Rubber Property Durometer Hardness) [7][8].

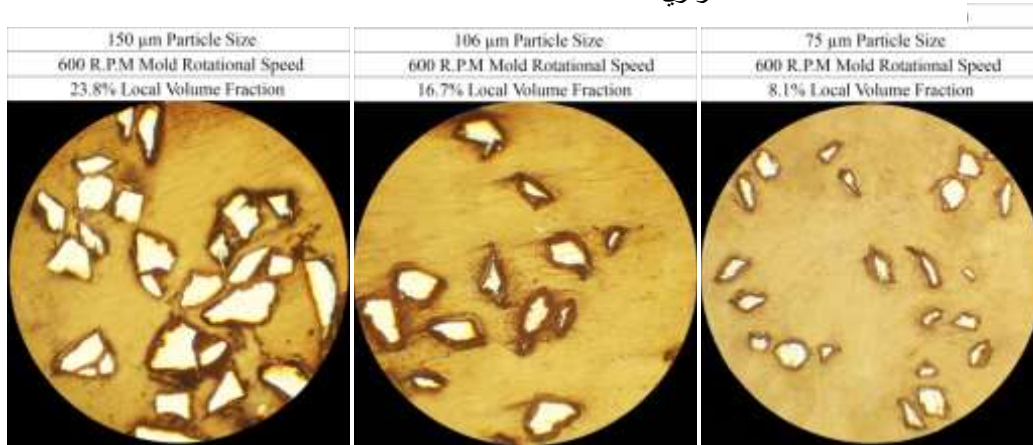
خضر: تأثير الحجم الحبيبي في بعض الخواص الميكانيكية لمواد متراكبة بوليميرية متدرجة وظيفياً مصنعة بطريقة----



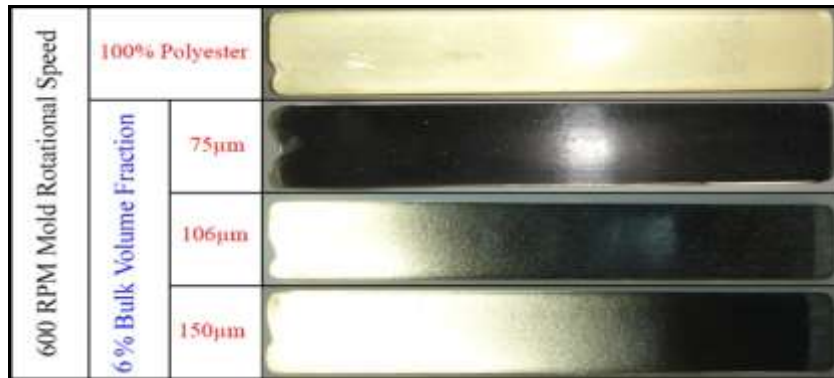
الشكل (3): المخطط العام لمنظومة السباكة الطرد

الشكل (4): إخراج فقاعات الهواء .

المركزي.



الشكل (5): البنية المجهرية (X80).

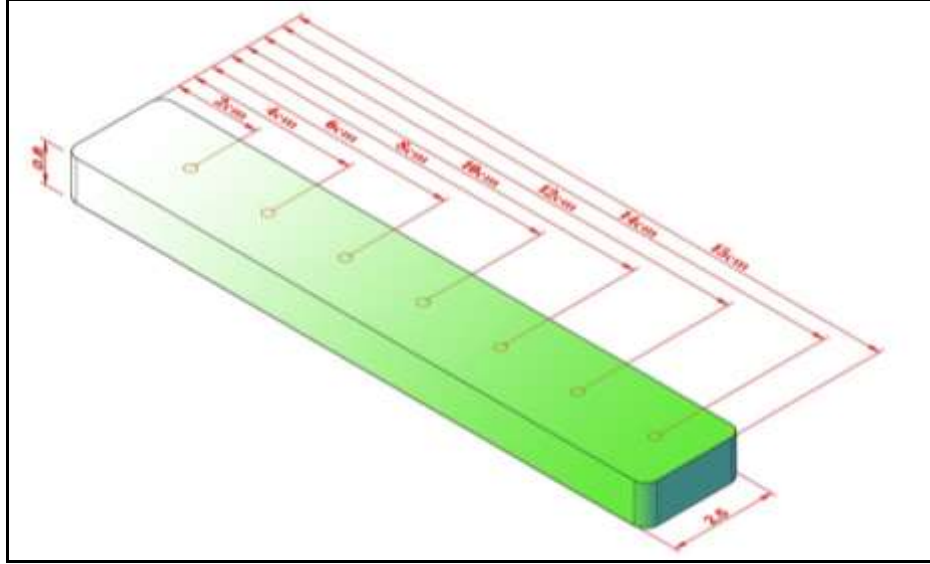


الشكل (6): نماذج المواد المتراكبة المتدرجة وظيفياً المصنعة.

ولغرض إيجاد الكسر الحجمي الموضعي للدقائق للنماذج المصنعة تم تحديد نقاط على طول كل نموذج والشكل (7) يوضح النقاط المحددة على الانموذج المصنع.

من أجل إيجاد الكثافة الموضعية عند كل نقطة على طول كل أنموذج من النماذج المصنعة والموضحة في الشكل (7) تم تقطيع كل أنموذج من النماذج المتدرجة المصنعة إلى (8) قطع وبعرض ( 8

(mm) واعتبرت القطعة ضمن هذا العرض متجانسة لعدم وجود اختلاف كبير في الكثافة خلالها، ومن ثم عدم وجود اختلاف كبير في الكسر الحجمي ضمن هذا العرض [9]. تم حساب قيم الكثافة لكل قطعة من القطع وبالاعتماد على المواصفة القياسية (ASTM C693 Standard Test Method For Density of Glass By Buoyancy)، تتطلب هذه المواصفة قياس وزن القطع في الهواء وقياس وزنها وهي معلقة في الماء. استخدم لذلك ميزان إلكتروني (Digital Scale) دقته (0.1 mg) من إنتاج شركة (Denver Instrument) الألمانية موديله (TP-214) [9].



الشكل (7): النقاط المحددة على طول الانموذج المتدرج.

بعد إيجاد كثافة كل قطعة من قطع كل أنموذج متدرج تم حساب الكسر الحجمي للدقائق كربيد السليكون في كل قطعة وبالاعتماد على قانون الخلائط (Mixture of Role) التالي [9]:

$$\rho_c = V_m \rho_m + V_p \rho_p \quad \dots \dots \dots (1)$$

إذ إن  $\rho_c$  يمثل كثافة المادة المترابكة، وأن  $\rho_m$  يمثل كثافة مادة الاساس (البولي استر والمصلب بعد تصلبها)، وأن  $\rho_p$  يمثل كثافة دقائق كربيد السليكون (Sic)، وأن  $V_m$  يمثل الكسر الحجمي لمادة الاساس، وأن  $V_p$  يمثل الكسر الحجمي لدقائق كربيد السليكون وبما ان [10]:

$$V_m + V_p = 1 \quad \dots \dots \dots (2)$$

لذلك ومن المعادلة رقم (1) والمعادلة رقم (2) نستطيع إيجاد الكسر الحجمي لدقائق كربيد السليكون لكل قطعة من قطع كل أنموذج مواد مترابكة بوليميرية متدرجة وظيفياً وكما في المعادلة التالية [10]:

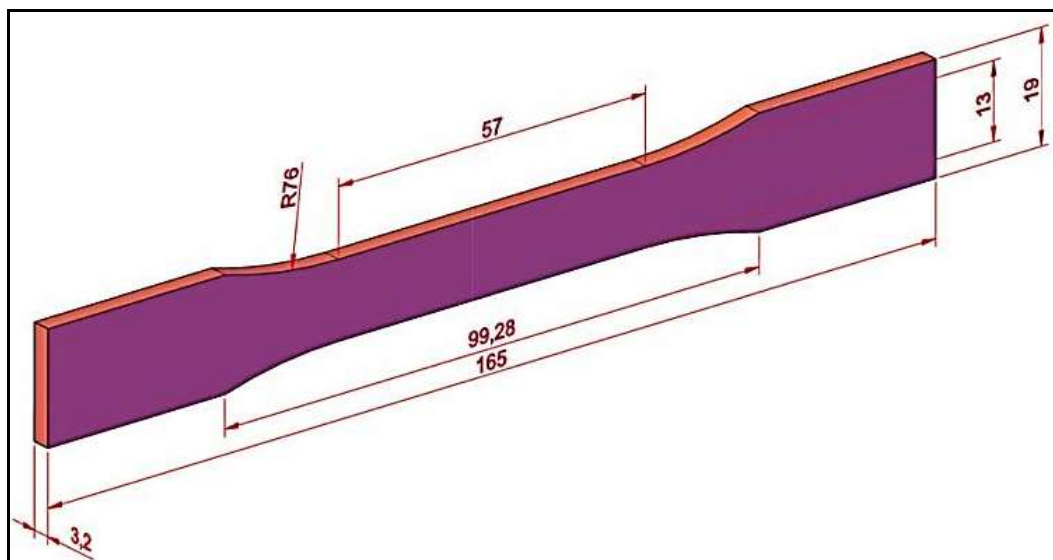
$$V_p = \frac{\rho_c - \rho_m}{\rho_p - \rho_m} \times 100\% \quad \dots \dots \dots (3)$$

إذ تم قياس كثافة كل من دقائق كربيد السليكون  $\rho_p$  والبولي استر  $\rho_m$  بعد تصلبه وبصورة عملية.

## خضر: تأثير الحجم الحبيبي في بعض الخواص الميكانيكية لمواد متراكبة بوليميرية متدرجة وظيفياً مصنعة بطريقة----

ولغرض إجراء فحص الشد تم تصنيع ثلاث عينات متجانسة ومتساوية في الكسر الحجمي عند كل نقطة [2] ووفق الأبعاد المطلوبة لعينة الشد القياسية مناظرة من حيث المواصفات (الكسر الحجمي والحجمي الحبيبي) للكسر الحجمي الموضعي والحجم الحبيبي للدقائق للنقاط عند (2,6,10,12,14 cm) على طول كل أنموذج متدرج كما موضح في الشكل (7)، إذ استخدم جهاز الشد ( Electronic Universal Test Machine) موديله (WDW-200) من إنتاج شركة (Jinan Shidai Shijin Testing Machine Group Co., Ltd. الصينية وتم سحب العينات بسرعة مقدارها (3mm/min) اعتماداً على المواصفة القياسية (ASTM D638-02a Standard Test Method for Tensile Properties of Plastic) لإجراء اختبار الشد و الخاصة بفحص المواد البلاستيكية المعززة وغير المعززة والشكل (8) يوضح أبعاد عينة الشد وفق هذه المواصفة [11].

عينات اختبار الشد التي تم تصنيعها هي عينات من مواد متراكبة متجانسة (Homogeneous) مادتها الأساس هي مادة الأساس نفسها المستعملة في تصنيع المواد المتراكبة متدرجة وظيفياً المصنعة والموضحة في الشكل (6) ومعززة وبصورة متجانسة بدقائق كربيد السليكون نفسها المستخدمة في تعزيز النماذج المتراكبة المتدرجة وظيفياً المصنعة ووفق الكسر الحجمي و الحجم الحبيبي لكل نقطة من النقاط المختارة على طول كل أنموذج من النماذج . والشكل (9) يوضح عينات الشد المصنعة ومواصفات كل عينة بعد اكتمال تصنيعها وإخراجها من الفرن الكهربائي .



الشكل (8): ابعاد عينة الشد القياسية [11].

تم إجراء اختبار الشد للعينات المتجانسة والموضحة في الشكل (9) وإيجاد معامل المرونة لكل عينة . معدل معامل المرونة لثلاث عينات متجانسة ومتساوية في الكسر الحجمي سوف يمثل معامل المرونة في نقطة معينة على طول الأنموذج المتدرج له نفس الكسر الحجمي والحجم الحبيبي للعينات المتجانسة [2][5].

Local Volume Fraction	4.1%	5.6%	5.9%	6.2%	8.1%
Position from inner end	2 cm	6 cm	10 cm	12 cm	14 cm
Bulk Volume Fraction 6%					
Rotation Speed 600 R.P.M					
Particle Size 75µm					
Local Volume Fraction	0.9%	3.9%	6.2%	9%	16.7%
Position from inner end	2 cm	6 cm	10 cm	12 cm	14 cm
Bulk Volume Fraction 6%					
Rotation Speed 600 R.P.M					
Particle Size 106µm					
Local Volume Fraction	0.4%	1.1%	3.7%	6.6%	23.8%
Position from inner end	2 cm	6 cm	10 cm	12 cm	14 cm
Bulk Volume Fraction 6%					
Rotation Speed 600 R.P.M					
Particle Size 150µm					

الشكل (9): صور فوتوغرافية لعينات الشد المتجانسة عند السرعة (600 RPM).

### 3. النتائج والمناقشة:

أن توزيع دقائق كربيد السليكون في البولي استر داخل القالب وقبل بدء عملية الطرد المركزي هو توزيع متجانس الى حد ما نتيجة عملية الخلط قبل الصب . أدت قوة الطرد المركزي إلى توزيع هذه الدقائق بصورة غير متجانسة ومتدرجة وبشكل يختلف وفق الحجم الحبيبي للدقائق المستعملة، وبمعنى آخر فإن هذه الدقائق أصبح لها تركيز مختلف من موضع إلى آخر على طول الأنموذج المتدرج بفعل هذه القوة . والجدول (1) يوضح كثافة كل قطعة من قطع الأنموذج المتدرج بعد تقطيعه الى ثمانية قطع ويلاحظ انخفاض قيم كثافة القطع مع زيادة الحجم الحبيبي لدقائق كربيد السليكون في المواضع القريبة من مركز دوران القالب وارتفاع كثافة القطع مع زيادة الحجم الحبيبي لدقائق كربيد السليكون في المواضع البعيدة عن



## خُسر: تأثير الحجم الحبيبي في بعض الخواص الميكانيكية لمواد متراكبة بوليميرية متدرجة وظيفياً مصنعة بطريقة----

مركز دوران القالب ويرجع السبب في ذلك الى ان زيادة الحجم الحبيبي للدقائق ادى الى زيادة قوة الطرد المركزي المؤثرة فيها مما ادى الى حركة الدقائق متجهة بعيدا عن مركز الدوران تاركة المواضع القريبة من مركز الدوران مما ادى الى زيادة اعداد الدقائق في المواضع البعيدة وانخفاض اعداد الدقائق في المواضع القريبة من مركز الدوران والذي ادى بدوره الى ارتفاع كثافة القطع في المواضع البعيدة عن مركز الدوران مع زيادة الحجم الحبيبي لدقائق كربيد السليكون وانخفاض كثافة القطع في المواضع القريبة من مركز الدوران مع زيادة الحجم الحبيبي لدقائق كربيد السليكون وبصورة نسبية .

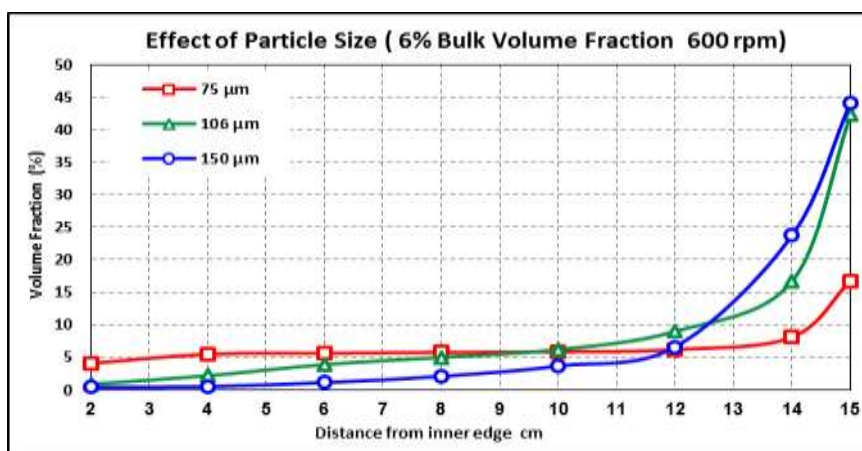
الجدول(1):كثافة قطع نماذج المواد المتراكبة المتدرجة وظيفياً.

	distance(cm)	2	4	6	8	10	12	14	15
Density(g/cm <sup>3</sup> )	100% Polyester	1.2425	1.2425	1.2425	1.2425	1.2425	1.2425	1.2425	1.2425
	6% 75 μm	1.3201	1.3476	1.3501	1.3529	1.3548	1.3613	1.3888	1.5688
	6% 106 μm	1.2572	1.2827	1.3212	1.3443	1.3597	1.3936	1.5303	2.0591
	6% 150 μm	1.2513	1.2525	1.2619	1.2807	1.3117	1.3695	1.7056	2.1062

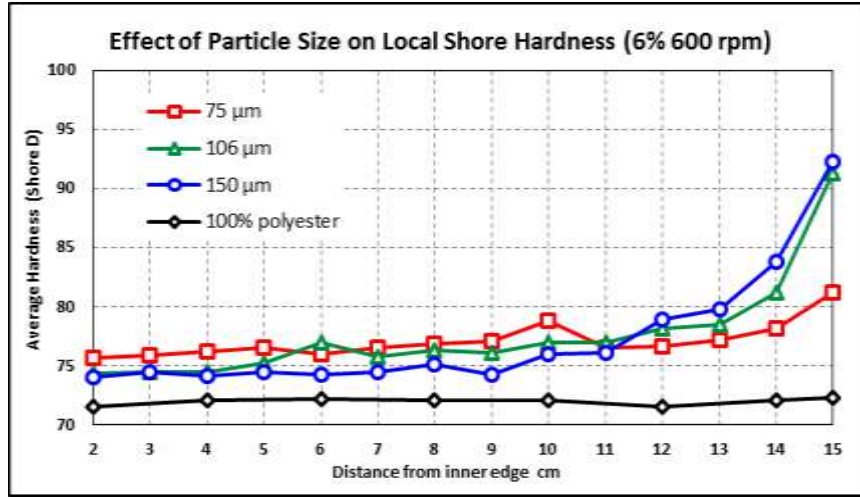
يوضح الشكل(10) تأثير الحجم الحبيبي لدقائق كربيد السليكون في الكسر الحجمي الموضعي لنماذج المواد المتراكبة البوليميرية المتدرجة إذ ينخفض الكسر الحجمي الموضعي عند المواضع القريبة من مركز دوران القالب ويرتفع عند المواضع البعيدة عن مركز دوران القالب مع زيادة الحجم الحبيبي للدقائق ويعود السبب الى زيادة كثافة القطع في المواضع البعيدة مع زيادة الحجم الحبيبي للدقائق وانخفاض كثافة القطع في المواضع القريبة من مركز الدوران مع زيادة الحجم الحبيبي للدقائق [12].

يوضح الشكل(11) تأثير الحجم الحبيبي في معدل قيم صلادة شور الموضعية إذ يلاحظ انخفاض قيم معدل صلادة شور الموضعية في المواضع القريبة من مركز دوران القالب وارتفاع هذا المعدل في المواضع البعيدة عن مركز دوران القالب مع زيادة الحجم الحبيبي للدقائق، ويرجع السبب في ذلك الى ان ارتفاع الكسر الحجمي الموضعي لدقائق كربيد السليكون ذات الصلادة العالية في المواضع البعيدة من مركز الدوران مع زيادة الحجم الحبيبي ادى الى ارتفاع قيم معدل صلادة شور في هذه المواضع وانخفاض الكسر الحجمي في المواضع القريبة من مركز الدوران مع زيادة الحجم الحبيبي للدقائق ادى الى انخفاض قيم معدل صلادة شور فيها[12].

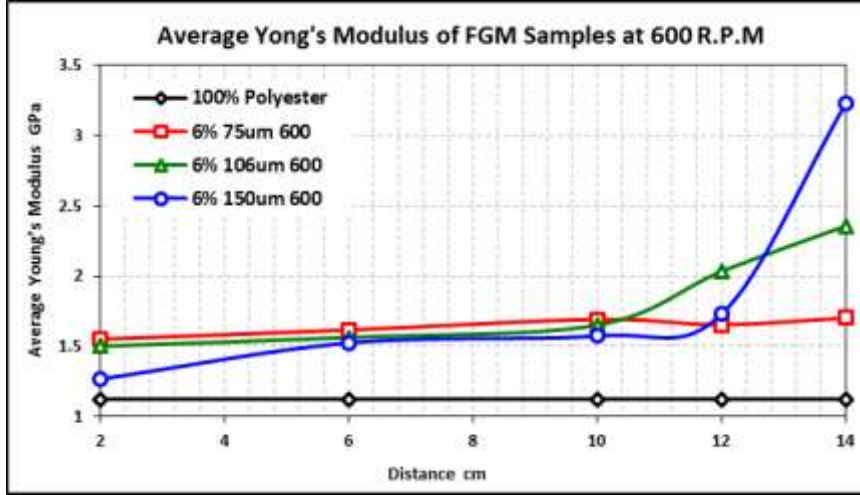
يوضح الشكل(12) تأثير الحجم الحبيبي في معدل معامل المرونة الموضعي ويلاحظ ارتفاع قيم معدل معامل المرونة في المواضع البعيدة من مركز الدوران مع زيادة الحجم الحبيبي ويرجع السبب في ذلك الى ارتفاع الكسر الحجمي الموضعي لدقائق كربيد السليكون في المواضع البعيدة عن مركز الدوران بالإضافة الى امتلاك دقائق كربيد السليكون (SiCp) معامل مرونة عالٍ يصل الى(400 Mpa) ويلاحظ انخفاض معدل معامل المرونة في المواضع القريبة عن مركز الدوران مع زيادة الحجم الحبيبي لدقائق كربيد السليكون بسبب انخفاض الكسر الحجمي الموضعي في المواضع القريبة عن مركز دوران القالب مع زيادة الحجم الحبيبي للدقائق [2].



الشكل(10): تأثير الحجم الحبيبي في الكسر الحجمي الموضعي.



الشكل(11): تأثير الحجمي الحبيبي في معدل قيم صلادة شور الموضعية.



الشكل(12): تأثير الحجم الحبيبي في معدل معامل المرونة لنماذج مواد متراكبة متدرجة وظيفياً.

#### 4. الاستنتاجات:

1. تنخفض قيم الكسر الحجمي الموضعي والصلادة ومعامل مرونة الشد الموضعي مع زيادة الحجم الحبيبي في المواضع القريبة من مركز دوران القالب.
2. ترتفع قيم الكسر الحجمي الموضعي والصلادة ومعامل مرونة الشد الموضعي مع زيادة الحجم الحبيبي للدقائق في المواضع البعيدة عن مركز دوران القالب.

#### 5. المصادر:

- 1 J. Stabik, A. Dybowska\*, M. Chomiak , " Polymer composites filled with powders as polymer graded materials " , Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, Volume 43 ,Issue 1, November 2010 ,153-161.
- 2 R. J. Butcher, C.-E. Rousseau and H. V. Tippur," A functionally graded particulate composite:preparation, measurements and failure analysis", Elsevier Science, Volume 47, Issue 1, 1999, 259-268.
- 3 S. M. Elia , "Studying the Effect of Adding Sea Nodules Powders on Flexural Strength

- and Hardness of Unsaturated Polyester Resin", Eng. & Tech. Journal , Volume 29, Issue 13 , 2011, 2807-2817.
- 4 هناء عرير سميح ، "تأثير التقوية بمسحوق أكسيد الزنك على الخواص الميكانيكية لمادة متراكبة ذات أساس من البولي استر غير مشبع" ،مجلة الهندسة والتكنولوجيا ،المجلد 29، العدد 10 ، 2011 ، 474-484.
  - 5 P. R. Marur ,H. V. Tippur , "Evaluation of Mechanical Properties of Functionally Graded Materials", Journal of Testing and Evaluating , JTEVA ,Volume 26, Issue 6, November 1998, 539-545.
  - 6 د. بلقيس محمد ضياء ، أحمد ستار جبار ، "دراسة الخصائص الميكانيكية لمادة متراكبة دقائقية مبنية على أساس خليط بوليميري " مجلة الهندسة والتكنولوجيا، المجلد 29، العدد 2، 2011، 76-85 .
  - 7 فاتن نعمان عبد الله "دراسة تأثير الحجم الحبيبي للدقائق ودرجة حرارة التشكيل على الخواص الميكانيكية للمواد المركبة ذات الأساس من البوليمر "،مجلة الهندسة والتكنولوجيا، المجلد 25، العدد 5 ، 2007 ، 198-206.
  - 8 د. سهامة عيسى صالح، د. كاظم مطر شبيب، قحطان عدنان ، "دراسة الخواص الميكانيكية لمواد متراكبة ذات أساس بوليميري مقواة بالألياف والدقائق "،مجلة الهندسة والتكنولوجيا ،المجلد 28 ،العدد 4، 2010 ، 81-93 .
  - 9 N. Gupta , P. K. Rohatgi , T. Matsunaga , , "Compressive and ultrasonic properties of polyester/fly ash composites", J Mater Sci ,44, January 2009, 1485–1493.
  - 10 د.حاتم كريم كاظم ، د.اسيل جاسم محمد ، زينب كاظم حنتوش ، "دراسة اهمية حساب الحجم الجزئي (Volume Fraction) للمواد المقواة بالألياف الزجاج والكربون " ،مجلة الهندسة والتكنولوجيا، المجلد 29، العدد 4 ، 2011 ، 195-205.
  - 11 ASTM D 638 – 02a .2003. Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics, Annual book of ASTM standards, Vol.08.01, American Society for Testing and Materials , Philadelphia.
  - 12 د. نوال عزت عبد اللطيف، سمير فياض، محسن طالب "دراسة خواص المواد المتراكبة المنتجة بطريقة السباكة بالطرد المركزي" ، مجلة الهندسة والتكنولوجيا ،المجلد 28، العدد 5، 2010 ، 170-190.