

## تأثير سرعة دوران القالب في الخواص الميكانيكية

### لمواد متراكبة بوليميرية متدرجة وظيفياً

أحمد أكرم عبد الله

أ.م. عواد هلو ش خضر

جامعة الموصل/ كلية الهندسة / قسم الهندسة الميكانيكية

#### الخلاصة

تم في هذا البحث انتاج مواد متراكبة بوليميرية متدرجة وظيفياً (FGPCs) مادتها الاساس من البولي استر غير المشبع (Unsaturated Polyester Resin) ومعززة بدقائق من كربيد السليكون ( $\text{SiC}_p$ ) بكسر حجمي كلي (6%) وحجم حبيبي ( $106\mu\text{m}$ ) ومصنعة بطريقة الطرد المركزي وبسرعة دورانية مختلفة (400,500,600 R.P.M) وبدرجة حرارة الغرفة ( $22^\circ\text{C}$ ) فضلا عن انتاج ثلاثة نماذج من البولي استر النقي وبالظروف نفسها لغرض المقارنة. تم دراسة تأثير تغير سرعة دوران القالب في القيم الموضعية للكسر الحجمي والصلادة ومعامل المرونة للنماذج المصنعة وفي نقاط محددة على طول كل نموذج متدرج. تم قياس الصلادة في هذه النقاط ومن ثم تقطيع كل نموذج متدرج الى ثمانية قطع وحساب كثافتها وتحديد كسرها الحجمي وانتاج نماذج متجانسة قياسية ذات مواصفات مناظرة لتلك الخصائص 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 مع زيادة

## The Effect of Mold Rotational Speed on Mechanical Properties of Functionally Graded Polymeric Matrix Composites

Ahmed Akram Abdullah

Awad Hallosh Khidhir

Assistant Professor

University of Mosul/College of Engineering/Mechanical Engineering Department

#### Abstract

In this research, a functionally graded polymeric matrix composites (FGPMCs) were produced using centrifugal casting method. These composites were fabricated from unsaturated polyester resin as a matrix and reinforced with silicon carbide particles ( $\text{SiC}_p$ ) of ( $106\mu\text{m}$ ) and (6%) bulk volume fraction, using different mold rotational speeds (400,500,600 R.P.M) at room temperature ( $22^\circ\text{C}$ ). Additional (3) samples of pure polyester were manufactured at the same conditions for comparison purpose. The aim of the present research was to study the effect of mold rotational speed 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 and volume fraction were evaluated, then standard homogenous samples of constant but different volume fraction were manufactured. Results shows 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 with increasing mold rotational speed.

**Key words:** Functionally graded polymeric composite, hardness, modulus of elasticity, mold rotational speed.

## 1.

إن المواد المترابطة البوليميرية المتدرجة وظيفياً (FGPC) هي نوع أو فئة خاصة من المواد المترابطة متدرجة وظيفياً (FGMs) التي يكون فيها أحد المكونات على الأقل مادة بوليميرية، غالباً ما تستعمل الراتنجات الصلبة 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 بكتافتها المنخفضة ومقاومتها للظروف والتأثيرات الجوية ومقاومتها للبيئة القاسية وخصائصها الحرارية والكهربائية وارتفاع مقاومتها النوعية الميكانيكية (Specific Mechanical Strength) نسبة إلى كتلتها [1].

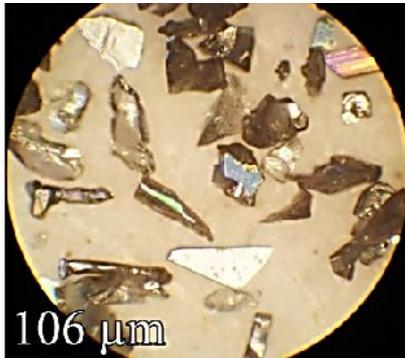
درس الباحثان (Stabik and Chomiak, 2011) تأثير تغيير سرعة دوران قالب الطرد المركزي في الخصائص الكهربائية السطحية لمواد مترابطة بوليميرية متدرجة وظيفياً ذات مادة أساس من راتنج الايبوكسي ومعززة بدقائق من الفحم الحجري (Hard Coal) وبكسور حجمية مختلفة (3, 4, 3, 7, 5, 10, 6, 12 Vol%) وبسرع دورانية مختلفة (535-617 R.P.M). أهمية هذه المواد تكمن في الحصول على مواد عازلة كهربائياً في أحد الجوانب وموصلة كهربائياً في الجانب المقابل. وقاما بخلط دقائق الفحم الحجري مع راتنج الايبوكسي لوحده بدون مصلب إلى أن تم الحصول على مزيج متجانس بعدها أضيف المصلب. ووجدوا ان لسرعة دوران القالب تأثيراً واضحاً في مقاومة السطح الكهربائية. وأن مقاومة السطح الكهربائية تقل مع زيادة سرعة دوران القالب بسبب زيادة الكسر الحجمي لدقائق الفحم الحجري بفعل قوة الطرد المركزي، وأن مقاومة السطح الكهربائية تقل مع زيادة الكسر الحجمي للنماذج [2].

درس الباحث (Saad M. Elia, 2011) تأثير اضافة مسحوق من عقيدات البحر (Sea Nodules) باحجام حبيبية مختلفة (53, 75, 106 μm) وكسور حجمية مختلفة (3, 6, 9, 12 Vol%) 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].

درست الباحثة (نوال عزت، 2009) تأثير سرعة دوران قالب الطرد المركزي والكسر الحجمي لدقائق كربيد السليكون في منسهر الالمنيوم على الكسر الحجمي الموضعي (Local Volume Fraction) والخواص الميكانيكية على المنطقة الخارجية لنماذج المواد المترابطة مادتها الاساس من الالمنيوم ومعززة بدقائق كربيد السليكون ذات الكسر الحجمي (5, 10, 15 Vol%) والمنتجة بطريقة الطرد المركزي، استخدمت الباحثة ثلاث سرع دورانية هي (900, 1400, 1800 R.P.M) حيث اظهرت نتائج الفحص المجهرية ان لسرعة دوران القالب تأثير كبير على البنية المجهرية وعلى توزيع دقائق كربيد السليكون في مادة الاساس، حيث ان زيادة سرعة دوران القالب تؤدي الى زيادة الكسر الحجمي الموضعي لدقائق كربيد السليكون المتجمعة في المنطقة الخارجية من الاسطوانة المنتجة ويرجع السبب في ذلك الى ان زيادة سرعة دوران القالب تؤدي الى زيادة قوة الطرد المركزي وبالتالي زيادة سرعة وقوة اندفاع دقائق كربيد السليكون ذات الكثافة الاعلى باتجاه المنطقة الخارجية تاركة مادة الاساس ذات الكثافة الاقل في المناطق الداخلية من الاسطوانة. كما وجدت الباحثة ان الكسر الحجمي الموضعي يزداد مع زيادة الكسر الحجمي لدقائق كربيد السليكون [4].

ان الهدف من البحث الحالي هو دراسة تأثير تغيير سرعة دوران قالب الطرد المركزي في القيم الموضعية للكسر الحجمي لدقائق كربيد السليكون (SiC) والصلادة ومعامل المرونة لمادة مترابطة بوليميرية متدرجة وظيفياً اساسها البولي استر غير المشبع.

## 2.



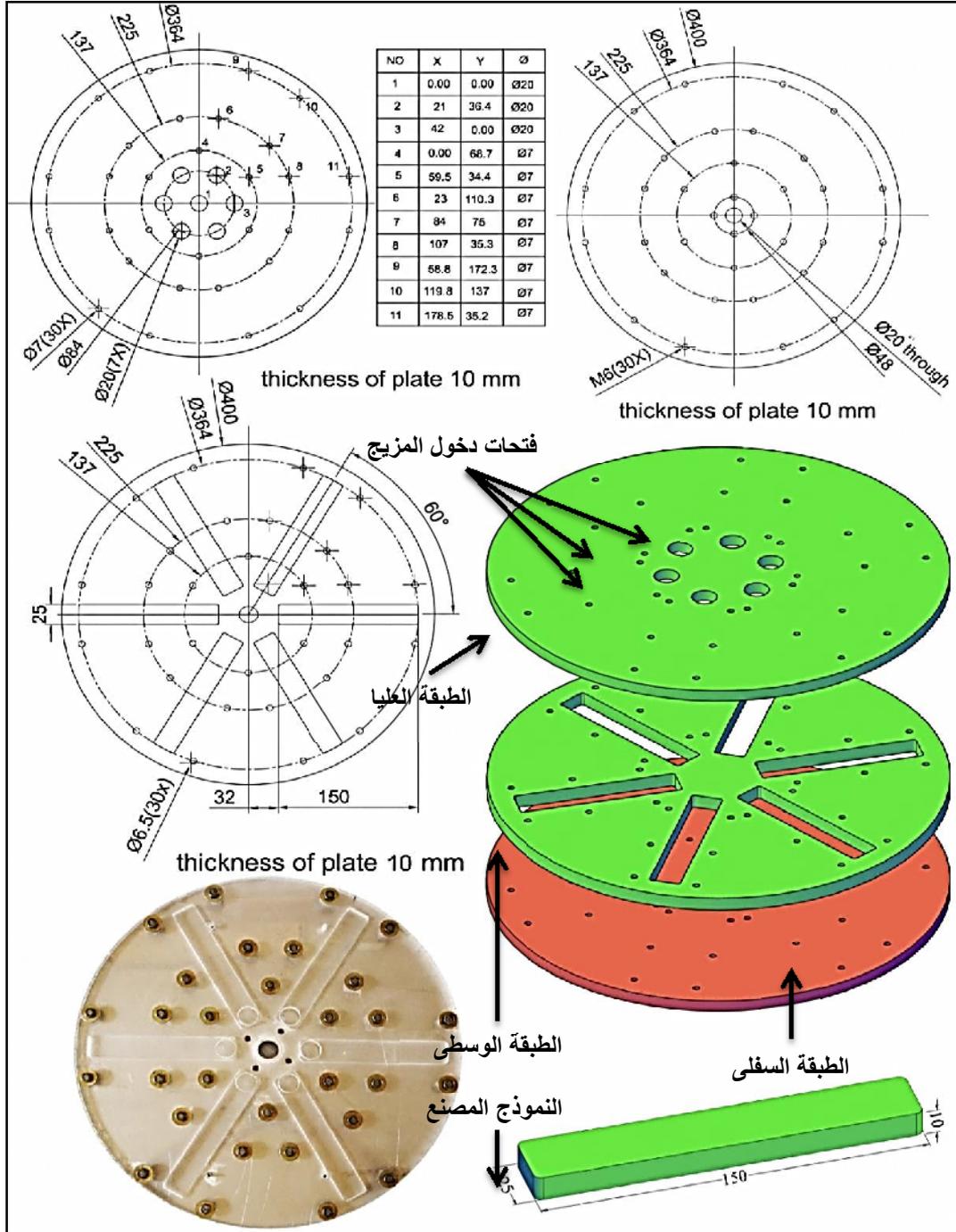
الشكل (1): صورة مجهرية تبين دقائق كربيد السليكون المستعملة في البحث (X100).

تم استخدام راتنج البولي استر غير المشبع (Unsaturated Polyester Resin) والمصنع من قبل شركة (Poliya Composite Resins and Polymers, Inc. التركية نوعه (Polipol-3455)، وهو من البوليمرات المتصلبة حرارياً ويكون بشكل سائل لزج شفاف حاو على نسبة من الكوبلت (Cobalt Pre-accelerated) مسبقة الخلط. يخلط مع المصلب بيروكسيد مثيل اثيل كيتون (Methyl Ethyl Ketone Peroxide) المنتج من قبل شركة (MEKP Akpa Organic Peroxides, Initiators & Paint Driers) التركية نوعه (Akperox A1) وهو سائل شفاف أقل لزوجة من الراتنج ويخلط ونسبة (2gm) من المصلب لكل (100 gm) 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.

تأثير سرعة دوران القالب في الخواص الميكانيكية لمواد متراكبة بوليميرية متدرجة وظيفياً :

ومن 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 بواسطة هذا القالب إنتاج ستة نماذج متدرجة وظيفياً في وقت واحد وبالظروف نفسها[5].

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



الشكل(2):قالب الطرد المركزي المستعمل في البحث والأنموذج المصنع (كافة الابعاد بالمليمتر)[5].

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

بعد حساب وزن كل مكون من مكونات الأنموذج يتم خلط الراتنج (Resin) لوحده مع الدقائق يدوياً وبسرعة  
عالية ولمدة خمس دقائق لضمان ترطيب كافة أسطح الدقائق بالراتنج والحصول على مزيج متجانس  
(Homogenization) ، علماً ان سرعة الخلط العالية تؤدي إلى دخول فقاعات الهواء داخل المزيج [1][6].  
تؤدي فقاعات الهواء دوراً مهماً في تحديد الخواص الميكانيكية للأنموذج المصنع، 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 خلط النماذج 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 [7].

ثالثاً : أثناء عملية تفريق الوعاء السابق من الهواء يوضع على جزء هزاز ، إذ تساعد الاهتزازات على تسريع خروج  
الفقاعات من المزيج [8]. 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 وعلى بعد (14cm) من النهاية القريبة من مركز  
الدوران وللسرعة الدورانية الثلاثة (400,500,600 R.P.M) والشكل(5) يوضح صور مجهرية لهذه المناطق تبين خلوها  
من الفقاعات الهوائية.



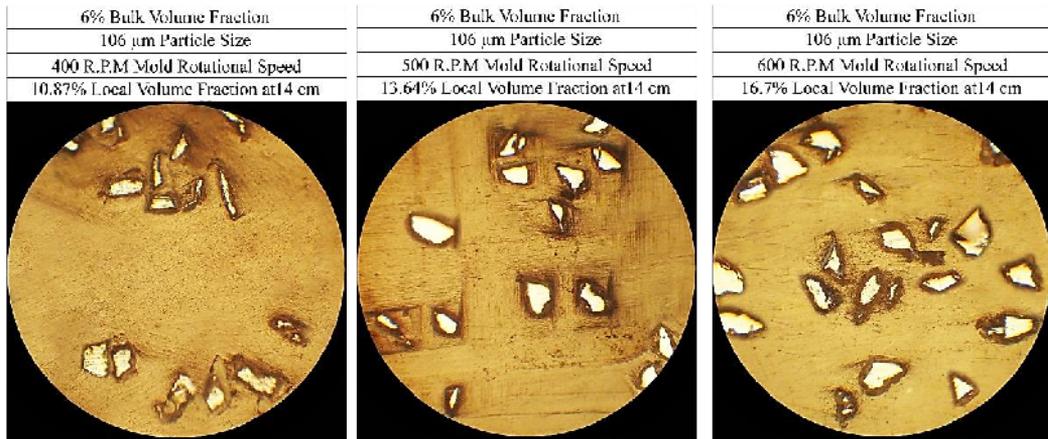
الشكل(3): المخطط العام لمنظومة السباكة بالطرد المركزي

الشكل(4): الاسلوب المتبع في إخراج فقاعات الهواء [5] .

المركزي [5].

بعد الحصول على مزيج خالٍ من الفقاعات الهوائية 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 احد تجاويف القالب وفي نفس الوقت يصب مزيج البولي استر والمصلب فقط في  
التجويف المقابل له لضمان اتزان محور القالب. ويتم تشغيل المحرك الذي سبق ضبط سرعته ليدير ووفق السرعة المحددة  
ولمدة (30) ثانية . تترك النماذج داخل القالب لمدة (24) ساعة لضمان اكتمال تصلب النماذج داخل القالب [8]. بعدها يتم  
فتح القالب واستخراج النماذج .

تأثير سرعة دوران القالب في الخواص الميكانيكية لمواد متراكبة بوليميرية متدرجة وظيفياً



الشكل (5): صور مجهرية لمواد متراكبة مختلفة (X80).



الشكل (6): الفرن الكهربائي المستخدم لإكمال عملية البلمرة.

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 [9]. في هذا البحث وضعت النماذج في فرن كهربائي من إنتاج شركة (Electric Muffle) الكورية موديل (RKB101) يتم السيطرة على درجة حرارته الكترونياً كما في الشكل (6). بعدها تم إخراج النماذج من الفرن وتوحيد أبعادهم. الشكل (7) يوضح نماذج المواد المتراكبة متدرجة وظيفياً المصنعة في هذا البحث بكسر حجمي كلي (6 Vol%) وحجم حبيبي (106 µm) وسرعة دورانية مختلفة (400,500,600 R.P.M) في حين يوضح الشكل (8) النماذج المصنعة من البولي استر النقي وبسرع دورانية مختلفة (400,500,600 R.P.M).

تم قياس صلادة النماذج المتراكبة المتدرجة 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) [10][11] وباستعمال الجهاز (ShoreD) من إنتاج شركة (Zwick) السويسرية موديله (Werk-Nr.68733) ووفق المواصفة القياسية العالمية (ASTM D2240-02 Standard Test Methods for Rubber Property (Durometer Hardness).



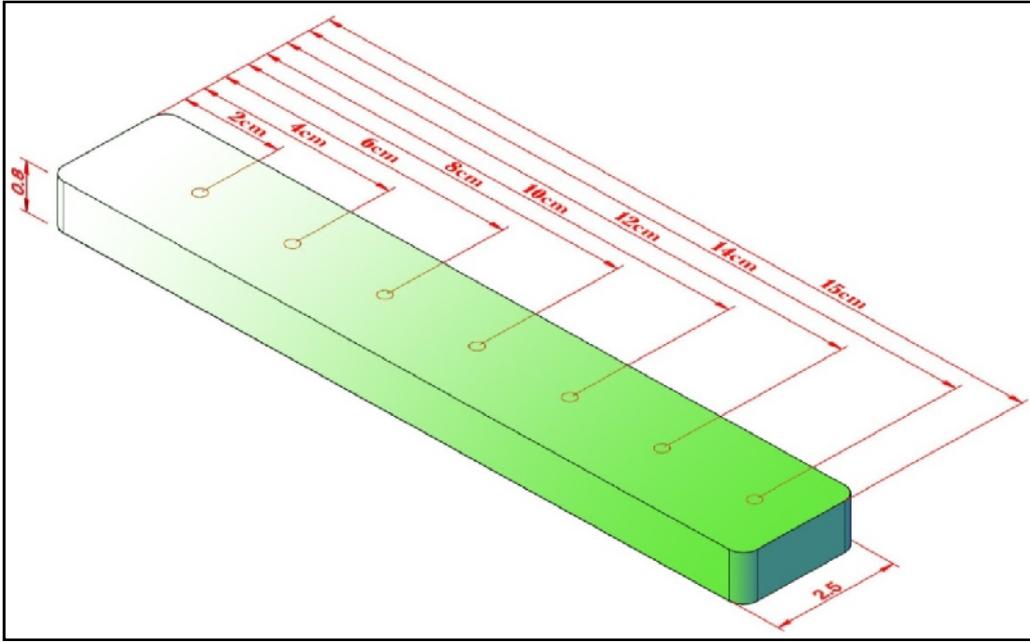
الشكل (7): نماذج المواد المتراكبة المتدرجة وظيفياً المصنعة بسرع دورانية مختلفة.



الشكل (8): نماذج البولي استر النقي بسرع دورانية مختلفة.

تم تحديد نقاط على طول كل أنموذج متدرج وظيفياً لإيجاد الكسر الحجمي الموضوعي عند هذه النقاط والشكل (9) يوضح النقاط المحددة التي تم اعتمادها في البحث الحالي.

لغرض إيجاد الكسر الحجمي الموضوعي عند كل نقطة يجب إيجاد الكثافة الموضوعية عند كل نقطة على طول كل أنموذج من النماذج المتدرجة المصنعة والموضحة في الشكل (7) لذا تم تقطيع كل أنموذج من النماذج المتدرجة المصنعة إلى (9) قطع وبعرض (8mm) 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 [12]. 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 الكتروني (Digital Scale) دقته (0.1 mg) من إنتاج شركة (Denver Instrument) الألمانية موديله (TP-214)[12].



الشكل (9): النقاط المحددة على طول الانموذج المتدرج التي تم اعتمادها في البحث

بعد إيجاد كثافة كل قطعة من قطع كل أنموذج متدرج تم حساب كسرها الحجمي وبالاعتماد على قانون الخلائط (Role of Mixture) التالي [12]:

$$c = V_m \cdot m + V_p \cdot p \quad \dots \dots \dots (1)$$

إذ إن  $c$  يمثل كثافة المادة المترابطة ، وأن  $m$  يمثل كثافة مادة الاساس ( البولوي استر والمصلب بعد تصلبها) ، وأن  $p$  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 [12]:

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

(1) نستطيع إيجاد الكسر الحجمي لدقائق كربيد السليكون لكل قطعة من بوليميرية متدرجة وظيفياً وكما في المعادلة التالية [13]:

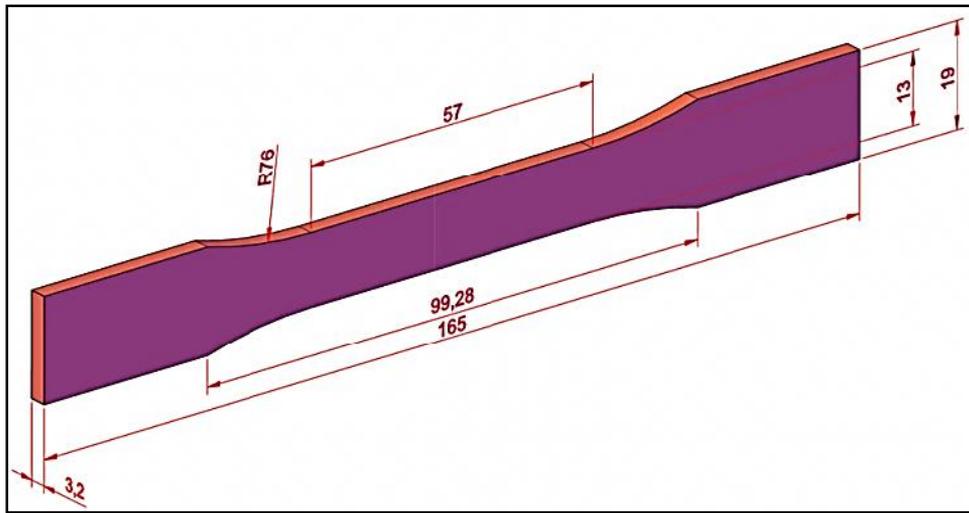
$$V_p = \frac{\rho_c - \rho_m}{\rho_p - \rho_m} \times 100\% \quad \dots \dots \dots (3)$$

إذ تم قياس كثافة كل من دقائق كربيد السليكون  $p$  بعد تصلبه وبصورة عملية .

## : تأثير سرعة دوران القالب في الخواص الميكانيكية لمواد متراكبة بوليميرية متدرجة وظيفياً

ولغرض إجراء فحص الشد تم تصنيع ثلاث عينات (Dog Bone) ومتساوية في الكسر الحجمي [14] ووفق الأبعاد المطلوبة لعينة الشد القياسية مناظرة من حيث المواصفات ( ) (9)، إذ استخدم جهاز (2,6,10,12,14cm) (Electronic Universal Test Machine) موديله (WDW-200) (Jinan Shidai Shijin) (Testing Machine Group Co., Ltd.) الصينية وتم العينات مقدارها (3mm/min) 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 (10) 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 (7) وبصورة متجانسة بدقائق كربيد السليكون نفسها المستخدمة في تعزيز النماذج المتراكبة المتدرجة وظيفياً (11) يوضح المجاميع عينات الشد القياسية المتجانسة المصنعة ومواصفات كل عينة بعد اكتمال تصنيعها وإخراجها من الفرن الكهربائي .



الشكل (10): أبعاد عينة الشد القياسية (الأبعاد بالمليمتر).

تم إجراء اختبار الشد للعينات القياسية (11) ورسم منحنى الاجهاد- لكل عينة وتحديد الجزء الخطي (Linear) منحنى ثم إيجاد معادلة هذا معامل المرونة لكل عينة يمثل ميل الجزء الخطي من منحنى الاجهاد - لها . معدل معامل المرونة لثلاث عينات قياسية متجانسة ومتساوية في الكسر الحجمي سوف يمثل معامل المرونة في موضع على طول الأنموذج المتدرج له نفس الكسر الحجمي لعينات القياسية [14][15].

### 3.

أن توزيع دقائق كربيد السليكون في البولي استر داخل القالب وقبل بدء عملية الطرد المركزي هو توزيع تقريباً نتيجة عملية الخلط قبل الصب . أدت قوة الطرد المركزي إلى توزيع هذه الدقائق بصورة غير (Heterogeneous) ومتدرجة وبشكل يختلف وفق سرعة دوران القالب المستعملة، وبمعنى آخر فإن هذه الدقائق أصبحت لها تركيز مختلف من موضع إلى آخر على طول الأنموذج المتدرج بفعل هذه القوة . يوضح الشكل (12) تأثير تغيير سرعة دوران القالب في الكسر الحجمي الموضعي لنماذج المواد المتراكبة البوليميرية المتدرجة إذ ينخفض الكسر الحجمي الموضعي في المواضع القريبة من مركز دوران (2cm) (11cm) مع زيادة سرعة دوران القالب من (400 R.P.M) (600 R.P.M) ويرتفع في المواضع البعيدة عن مركز دوران القالب أي من المسافة (11cm) (15cm) مع زيادة سرعة دوران القالب من (400

(R.P.M) (600 R.P.M) ، ويعود السبب الى زيادة قوة الطرد المركزي المؤثرة على الدقائق والمتجهة بعيدا عن مركز دوران القالب مع زيادة سرعة دوران القالب مما ادى الى زيادة سرعة وتعجيل الدقائق المتجهة نحو المواضع البعيدة عن مركز الدوران . حركة الدقائق نحو المواضع البعيدة تاركة المواضع القريبة ادى الى زيادة اعداد الدقائق وزيادة الكسر الحجمي الموضعي في المواضع البعيدة وانخفاض الكسر الحجمي للدقائق في المواضع القريبة من مركز الدوران[4].

Local Volume Fraction	2.3%	6.1%	7.3%	7.9%	10.9%
Position from inner end	2 cm	6 cm	10 cm	12 cm	14 cm
Bulk Volume Fraction 6%					
Rotational Speed 400 R.P.M					
Particle Size 106µm					
Local Volume Fraction	1.2%	4.0%	5.8%	8.7%	13.6%
Position from inner end	2 cm	6 cm	10 cm	12 cm	14 cm
Bulk Volume Fraction 6%					
Rotation Speed 500 R.P.M					
Particle Size 106µm					
Local Volume Fraction	0.9%	3.9%	6.2%	9.0%	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					

الشكل(11): صور المجاميع الثلاثة لعينات الشد القياسية المتجانسة المقابلة للنماذج المتدرجة عند السرعة الدورانية (400,500,600 RPM).

تأثير سرعة دوران القالب في الخواص الميكانيكية لمواد متراكبة بوليميرية متدرجة وظيفياً :

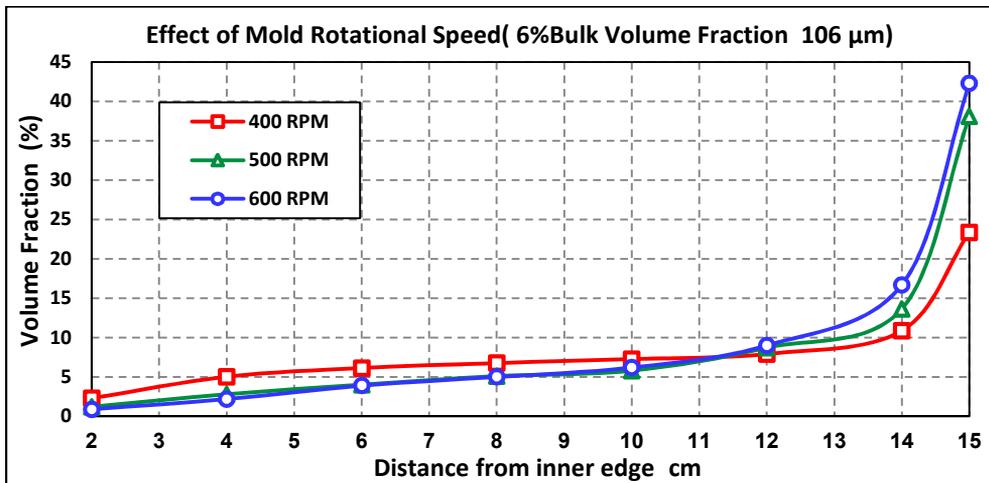
يوضح الشكل (13) تأثير معدل صلادة شور الموضعية إذ يلاحظ انخفاض قيم معدل صلادة شور الموضعية في المواضع القريبة من مركز دوران القالب (2cm) (11cm) زيادة سرعة دوران القالب من (400 R.P.M) (600 R.P.M) ويرتفع هذا المعدل في المواضع البعيدة عن مركز (11cm) (15cm) مع زيادة سرعة دوران القالب من (400 R.P.M) (600 R.P.M) ويرجع السبب في ذلك الى بعيده مع زيادة قربية معدل صلادة شور فيها [3] [4] .

ان قيم معدل صلادة شور الموضعية هي قيم صلادة شور الموضعية الى امتلاك دقائق كربيد السليكون صلادة عالية ، كما يلاحظ من الشكل عدم وجود اختلاف ذو اهمية في معدل قيم صلادة شور الموضعية في النماذج المصنعة من البولي استر النقي وبالسرع (400,500,600 RPM) [9] . (14)(A,B,C) الجزء الخطي من منحنيات الاجهاد-الانفعال لاحد المجاميع الثلاثة لعينات القياسية (11) حيث يتعذر عرض جميع هذه المنحنيات لكثرتها ، كما تحوي هذه الجزء الخطي لمنحني الاجهاد-

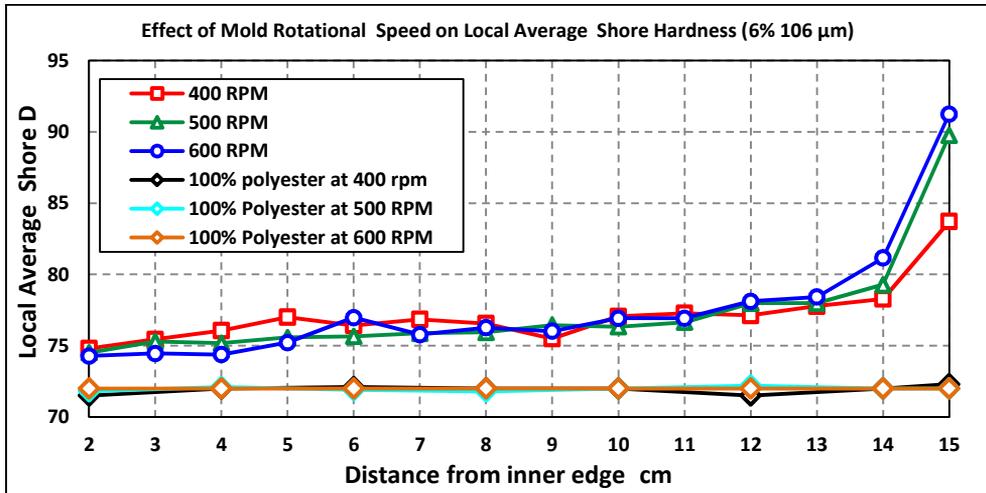
نلاحظ من هذه الأشكال زيادة واضحة لقيمة الإجهاد عند قيمة محددة من مع زيادة الكسر الحجمي الموضعي وللعينات جميعها مما يدل على زيادة معامل المرونة مع زيادة الكسر الحجمي ويرجع السبب في ذلك إلى امتلاك دقائق كربيد السليكون معامل مرونة عالٍ يصل إلى (400GPa) الكسر الحجمي لدقائق كربيد السليكون تعمل على زيادة معامل المرونة للمادة المتراكبة لمعززة به [16][17].

يوضح الشكل (15) تأثير معدل صلادة شور الموضعية في المواضع القريبة من مركز الدوران (2cm) (10cm) مع زيادة سرعة (400 R.P.M) (600 R.P.M) وارتفاع قيم معدل صلادة شور الموضعية في المواضع البعيدة عن مركز (10cm) (15cm) مع زيادة سرعة (400 R.P.M) (600 R.P.M) ويرجع السبب في ذلك الى انخفاض الكسر الحجمي الموضعي لدقائق كربيد السليكون في المواضع القريبة من مركز الدوران وارتفاع الكسر الحجمي الموضعي في المواضع البعيدة عن مركز دوران القالب نتيجة تأثر اكبر مع زيادة [12].

ان قيم معدل صلادة شور الموضعية ولنماذج هي اكبر من قيم معدل صلادة شور الموضعية في المواضع البعيدة عن مركز دوران القالب نتيجة تأثر اكبر مع زيادة [12].

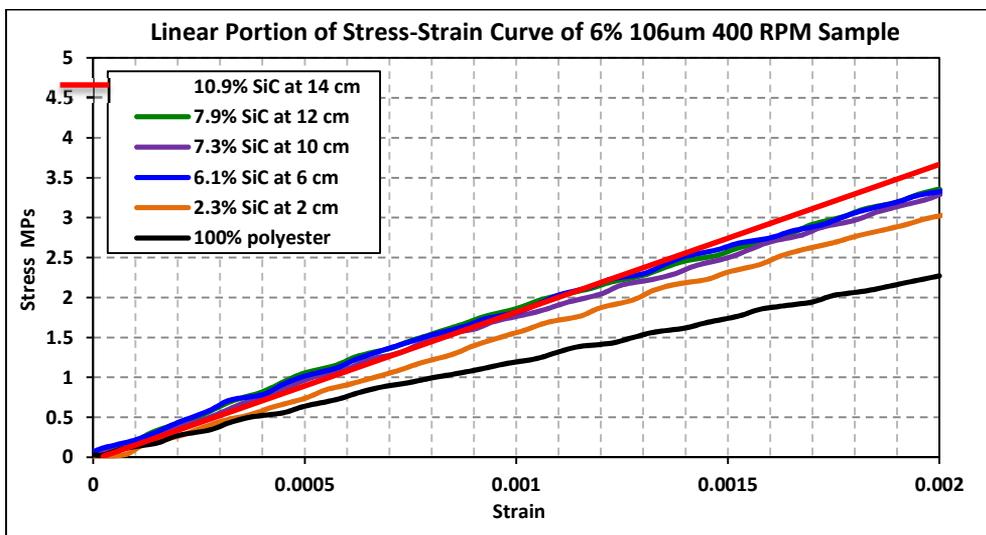


(12): تأثير

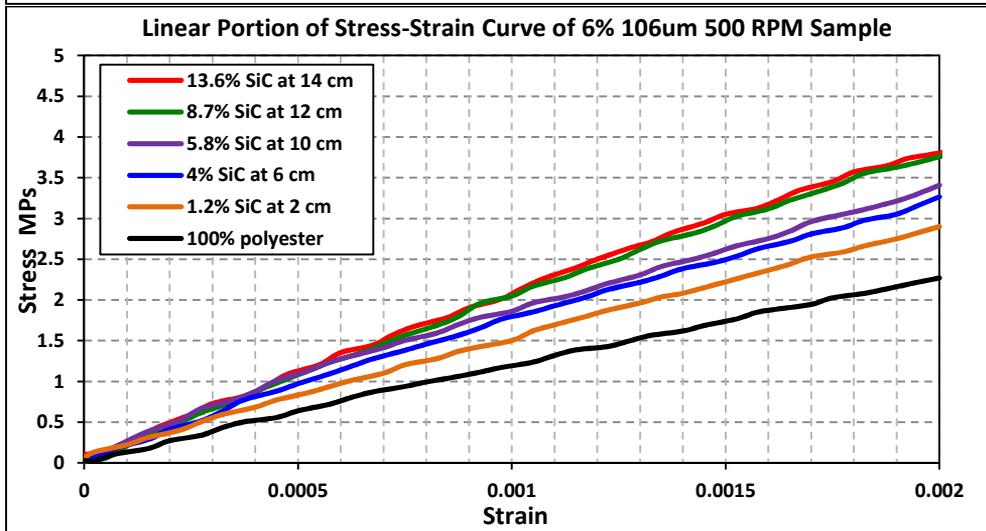


(13): تأثير سرعة دوران القالب في معدل قيم صلادة شور الموضعية.

A

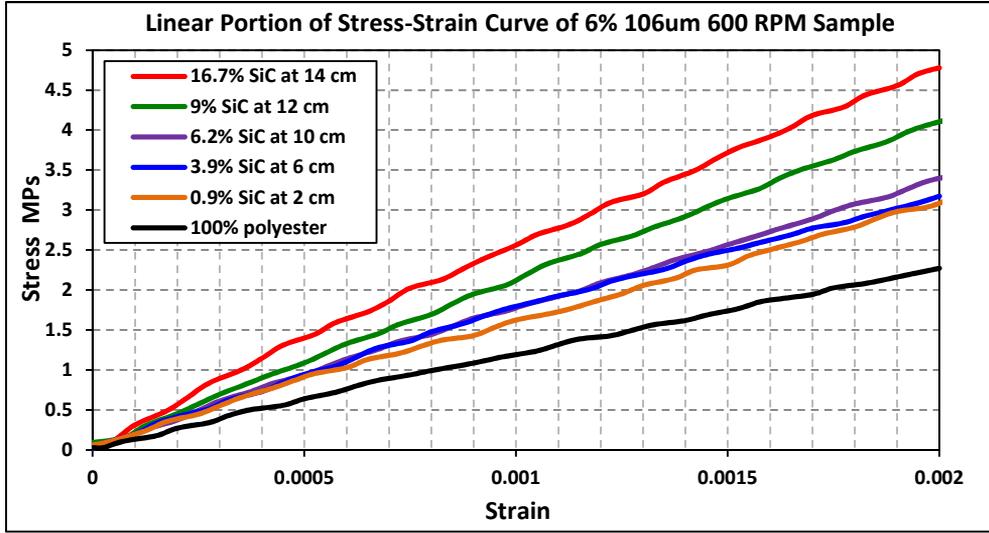


B

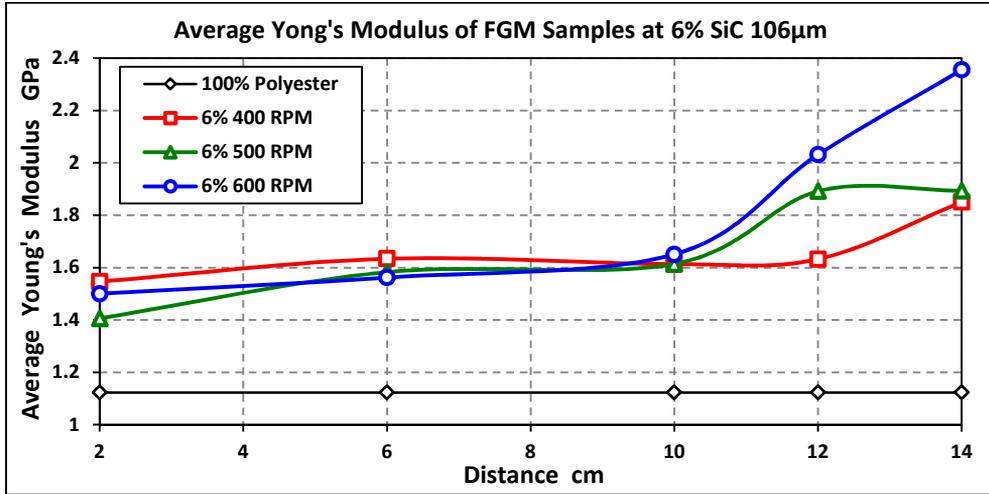


: تأثير سرعة دوران القالب في الخواص الميكانيكية لمواد متراكبة بوليميرية متدرجة وظيفياً

C



(14): الجزء الخطي من منحني الاجهاد- لاجد مجاميع عينات الشد القياسية



متدرجة وظيفياً.

(15): تأثير

.4

: بعض الاستنتاجات المهمة التي ا

1. زيادة سرعة دوران القالب في سبابة الطرد المركزي له اثر كبير في الحصول على خصائص ميكانيكية وظيفياً

2. تنخفض قيم الكسر الحجمي الموضعي والصلادة ومعامل مرونة الشد الموضعي مع زيادة المواضع القريبة من مركز دوران قالب الطرد المركزي لنماذج مواد متراكبة بوليميرية متدرجة وظيفياً وترتفع قيم الكسر في المواضع البعيدة عن مركز

هي

3. معدل قيم الصلادة ومعامل المرونة للنماذج المعززة ب اكبر من معدل قيم الصلادة ومعامل المرونة للنموذج المصنع من البولي استر النقي .

- 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.
- 2 J. Stabik, M. Chomiak," Influence of casting velocity on surface resistivity of epoxy-hard coal graded composites",Archives of Materials Science and Engineering,Volume 47,Issue 1,January 2011,PP48-56.
- 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, Issue13 , 2011,PP 2807-2817.
- 4 د. نوال عزت عبد اللطيف، سمير فياض، محسن طالب "دراسة خواص المواد المترابطة المنتجة بطريقة السباكة بالطرد المركزي"، مجلة الهندسة والتكنولوجيا، المجلد 28 5 2010 170-190.
- 5 احمد اكرم عبد الله، " تصنيع ودراسة خصائص المترابكات البوليميرية المتدرجة وظيفياً " ، رسالة ماجستير ، قسم الهندسة الميكانيكية ، جامعة الموصل ، 2013.
- 6 عبير فاروق عباس، سحر حسين احمد "دراسة الخواص الحرارية لمادة مترابطة ذات أساس بوليمري مدعمة بدقائق النحاس"، مجلة الهندسة والتكنولوجيا، المجلد 28 18 2010.
- 7 J.Murphy,(2001),"Additives for Plastics Handbook",2nd eddition,Elsevier Advance Technology, Oxford,UK,PP 249.
- 8 هناء عرير سميح، "تأثير التقوية بمسحوق أكسيد الزنك على الخواص الميكانيكية لمادة مترابطة ذات أساس من البولي استر غير مشبع"،مجلة الهندسة والتكنولوجيا، المجلد 29 10 2011.
- 9 د.بلقيس محمد ضياء ، أحمد ستار جبار، "دراسة الخصائص الميكانيكية لمادة مترابطة دقائقية مبنية على أسا خليط بوليميري " مجلة الهندسة والتكنولوجيا، المجلد 29 2 2011.
- 10 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 5 2007 .
- 11 د. سهامة عيسى صالح، د. كاظم مطر شبيب، قحطان عدنان، "دراسة الخواص الميكانيكية لمواد مترابطة ذات أساس بوليمري مقواة بالألياف والدقائق"،مجلة الهندسة والتكنولوجيا، المجلد 28 4 2010.
- 12 N. Gupta , P. K. Rohatgi , T. Matsunaga , , "Compressive and ultrasonic properties of polyester/fly ash composites",J Mater Sci (2009) 44:1485–1493.
- 13 د.حاتم كريم كاظم ، د.اسيل جاسم محمد ، زينب كاظم حنتوش ، "دراسة اهمية حساب الحجم الجزئي (Volume Fraction) للمواد المقواة بالألياف الزجاج والكرتون"، مجلة الهندسة والتكنولوجيا، المجلد29 4 2011 195-205.
- 14 R. J. Butcher, C.E. Rousseau and H. V. Tippur," A functionally graded particulate composite:preparation, measurements and failure analysis", Elsevier Science, Vol. 47, No. 1, pp. 259-268,1999.
- 15 P. R. Marur ,H. V. Tippur ,"Evaluation of Mechanical Properties of Functionally Graded Materials",Journal of Testing and Evaluating ,1998.
- 16 H.A. Kereem,"Study the Influence of Adding Nickel Powder to a Thermosetting Epoxy resin on the Mechanical Properties" ,M.Sc.Thesis,University of Technology ,Baghdad, 2002.
- 17 A.Jawdat ,"Study the Influence of Adding Copper Powder to a Thermosetting Epoxy resin on the Mechanical Properties", M.Sc.Thesis,University of Technology,Baghdad, 2002.

تم اجراء البحث في كلية الهندسة = جامعة الموصل