تأثير حجم وتركيز مالئات دقائقية على الخصائص الميكانيكية والحرارية لمتراكب بوليمري[+]

EFFECT OF FILLER PARTICLE SIZE AND CONCENTRATION ON THE MECHANICAL AND THERMAL PROPERTIES OF POLYMER COMPOSITE.

سه وينج نور الدين رفيق[*] .. نجلاء رشدي محمد[*] .

المستخلص

تم في هذه الدراسة تحضير مواد متراكبة باستخدام راتنج البولي استر غير المشبع Unsaturated Polyester كمادة أساس، ودقائق خشبية محضرة من قشرة جوز الهند كمواد مدعمة. استخدم نوعين من حجم الدقائق (μm 53-63)و(μm 10-20) وبنسب وزنيه (30%,20%,10%) لكل منها.

تم تقييم المواد المتراكبة من خلال دراسة بعض خواصها الميكانيكية والتي شملت (مقاومة الصدمة ومقاومة الانضغاط ومعامل المرونة وصلادة برينيل) وخواصها الحرارية المتمثلة في التوصيل الحراري.

أظهرت هذه الدراسة تحسن في الخصائص الميكانيكية بالمقارنة مع خصائص البولي استر الغير مشبع النقي، وظهر تأثير كل من نسب وحجم الدقائق المضافة على الخصائص الميكانيكية والحرارية.

Abstract

In this study unsaturated polyester(UPS) was used as a matrix for composite materials with coconut shell Particulates as a reinforcement martials. Two kinds of Particle size (53-63 μm)and(10-20 μm)were used with weight percentages (10%,20%and 30%)for both.

The composite materials were estimated according to their mechanical properties included (impact strength, elastic modulus, compressive strength and of Brinell hardness) and thermal conductivity.

This study showed on improvements in mechanical properties of particulate composites compared with UPS resin. The effect of each weight percentage and particle size of filler on the mechanical and thermal properties was investigated.

المقدمة :

لغرض الحصول على مواد ذات خصائص ميكانيكية وحرارية مرغوب فيها.يتم تصنيع المواد المتراكبة والمتمثلة في المادة الأساس ومادة التسليح. إن المادة الأساس كما هي الحال مع البوليمرات تعامل مع مختلف أنواع الحشوات (fillers) التي تكون إما بهيئة ألياف أو على هيئة دقائق تتوزع بشكل منتظم في المادة الأساس (البوليمر).

[+] تاريخ استلام البحث 2007/1/28 تاريخ قبول النشر ٢٠٠٨/7/21

[*] مدرس –.الجامعة التكنولوجية– .قسم العلوم التطبيقية

إن المتراكبات الدقائقية تمتلك خواص موحدة متماثلة في جميع الاتجاهات، وهذه بحد ذاتها يمكن إن تكون لها فائدة كبيرة في بعض التطبيقات التي تتطلب خواص متماثلة [١] إذ تعمل الدقائق على زيادة مقاومة المادة للتشوه بالاعتماد على كيفية توزيع الدقائق داخل المادة الأساس فضلاً عن مشاركتها في تحمل الاجهادات المسلطة على المادة المتراكبة سوياً مع المادة الأساس[٢، ٣].

إن مقاومة الخضوع لمتراكب دقائقي(σ) تتناسب عكسياً مع الجذر التربيعي للمسافة البينية بين الدقائق(D_p) وحسب العلاقة[٢]:

$$\sigma \ \alpha \ \frac{1}{\sqrt{D_p}} \qquad \ldots (1)$$

إن السلوك الميكانيكي للراتنجات المدعمة بالدقائق ناتجة من التفاعل المعقد لخواص الأطوار المفردة الراتنج، الحشوات والمنطقة الفاصلة (Interfacial region) والخواص الأساسية، الكسر الحجمي للدقائق، والحجم الدقائقي للحشوات، ومعامل المرونة ومتانة الحشوات وقوة الالتصاق بين الراتنج والحشوات ومتانة المادة الأساس[٤- ٦].

تستخدم عادةً أنواع مختلفة من حشوات الدقائق وبشكل واسع مع راتنج البولي استر الغير مشبع ولأغراض مختلفة. إن تأثير الدقائق يكمن إما في مرحلة التحضير وذلك لزيادة الزوجة والتقليل من الحرارة المنبعثة(exotherm) وغيرها، أو تأثيرها على الخصائص النهائية إذ تؤثر الدقائق على التمدد الحراري وتزيد من صلابة المادة(rigidity) وقوة الصدمة ودرجة التحلل الحراري إضافة إلى تأثيرها على الخصائص الكهربائية والمقاومة الكيماوية والتقليل من الانكماش (Shrinkage) اثناء المعالجة الحرارية والذي يؤثر سلباُ على الخصائص الميكانيكية للمتراكب البوليمري[٦-١٠].

إن الهدف من هذه الدراسة هو تحسين بعض الخصائص الميكانيكية للبولي استر الغير مشبع باستخدام حشوات دقائقية متوفرة وزهيدة ودراسة التوصيل الحراري للمتراكب البوليمري الناتج وبالتالي تقليل كلفة هذه المادة المستخدمة في التطبيقات المختلفة.

المواد المستخدمة:

تم استخدام راتنج البولي استر غير المشبع وهو من البوليمرات المتصلدة حرارياً ولسلاسله تركيب متشابك (cross linked) ونقاط الضعف في هذا البوليمر كونه قصيف وتقلصه كبير قد يصل لغاية(7%).

الراتنج المستخدم في هذا البحث على هيئة سائل شفاف نوع(A50)، كثافته ($1.12gm/cm^3$) يضاف إليه المعجل كعامل مساعد ثانوي وهو الكوبلت اوكتويت بمقدار (0.5gm) لكل (100gm) من الراتنج، يتم خلط المزيج جيداً ثم يضاف (2gm) من المصلد وهو بيروكسيد اثيل مثيل كيتون فيتحول من سائل الى مادة صلبة في درجة حرارة الغرفة.

استعملت دقائق خشبية محضرة من قشرة جوز الهند واستخدم نوعين من حجم الدقائق احدهما تراوح حجم الدقائق (μm 53-63) والنوع الأخر تراوح حجم الدقائق(μm 10-20) وبنسب وزنيه (30%,20%,10%) من كلا النوعين.

تحضير العينات:

استخدمت تقنية القولبة اليدوية في تحضير المتراكبات البوليمرية وذلك بإتباع الخطوات الآتية:

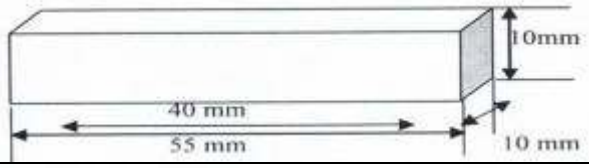
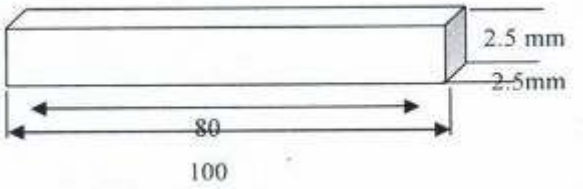
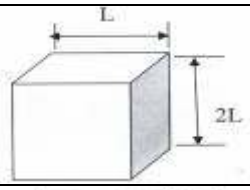
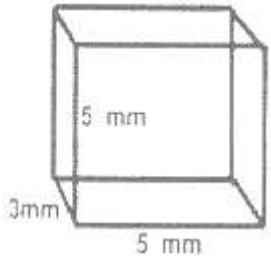
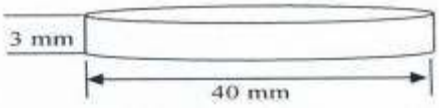
١- تهيئة القالب: تم تهيئة قالب لعملية الصب المتكون من صفيحتين من الحديد المغلون، احدهما تمثل القاعدة التي يتم الصب فيها وتكون محاطة بإطار والأخرى تمثل الغطاء وذلك لغرض انتظام السمك.

أجريت عملية تنظيف القالب وتجفيفه لضمان عدم التصاق المصبوبات على القالب بعد التصلب غلفت كل من القاعدة والغطاء بطبقة عازلة على القالب من مادة البولي فينيل الكحول(PVA).

٢- تحضير المادة المتراكبة: تم خلط راتنج البولي استر الغير مشبع المضاف إليه(0.5gm) من مادة المعجل لكل (100gm)بولي استر خلطاً جيداً ثم إضافة (2gm) من المصلد مع الاستمرار بالخلط وبعدها إضافة الدقائق الموزونة مسبقاً وبنسب وزنيه(30%,20%,10%) على التوالي وكل حجم من الدقائق على انفراد تخلط بإتقان للحصول على تجانس تام بين الدقائق والراتنج وبعدها صب الخلطات في القالب على التوالي. ترك القالب فترة زمنية كافية في درجة الغرفة حتى يكتمل التصلب ومن ثم وضعها داخل الفرن لمدة ست ساعات بدرجة حرارة($60^{\circ}C$) لإتمام عملية المعالجة.

تم تقطيع العينات حسب كل اختبار والجدول (١) يوضح الإبعاد القياسية للعينات وأجريت عملية التنعيم والصقل باستخدام أوراق كاربيد السليكون بدرجات مختلفة.

الجدول رقم(١) يوضح الإبعاد القياسية للعينات لكل اختبار

نوع الاختبار	Test Specimen Specification	النظام القياسي
Impact		ASTM-D256-87
Bending		ASTM-D790-86
compressive		ASTM-D695
Brinell		ASTM-E10
Thermal Conductivity		ــــــــــــ

الفحوصات:

أجريت كل من الفحوصات الميكانيكية والحرارية على النماذج وهي كالأتي:

١- اختبار مقاومة الصدمة (Impact Strength)

تم إجراء اختبار مقاومة الصدمة بطريقة جاربي بوساطة جهاز الصدمة من نوع (Testing Machines INC., AMITYVILLE)على نماذج غير محززة. وتم حساب مقاومة الصدمة من العلاقة الآتية:

$$\text{Impact Strength}=\frac{Fracture\ energy(KJ)}{Area(m^2)} \quad ...(2)$$

٢-اختبار الانضغاطية (Compression Test):

تم إجراء اختبار الانضغاط لحساب مقاومة الانضغاط باستعمال المكبس الهيدروليكي من نـــوع(Leybold Harris NO.36110) وتم حساب مقاومة الانضغاط من العلاقة الآتية:

$$\sigma = \frac{P}{A} \qquad ... (٣)$$

حيث إن

σ :مقاومة الانضغاط($\frac{N}{m^2}$).

P:القوة المسلطة(N).

A:مساحة المقطع العرضي الابتدائي لعينة الاختبار(m^2).

٣- اختبار الانحناء(Bending Test):

تم قياس مقاومة الانحناء بطريقة الثلاثي النقاط(Three- Points Test)باستخدام الجهاز المصنع من قبل شركة(Phew) .انه اختبار مناسب للحصول على منحني (الكتلة -الانحراف)وبذلك يمكن حساب معامل المرونـــة (E) حسب العلاقة الاتية:

$$E = \frac{FL^3}{4bd^3S} \qquad ... (٤)$$

حيث $\frac{F}{S}$ يمثل ميل الخط المستقيم الابتدائي بين الحمل والانحراف.

b: عرض الأنموذج(m).

d: سمك الأنموذج(m).

٤-اختبار الصلادة (Hardness Test):

تم إجراء اختبار الصلادة بطريقة برينيل (Brinell Method) وتحسب صلادة برينيل من المعادلة الآتية:

$$HBr = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \qquad ... (5)$$

حيث إن

HBr: صلادة برينيل.

P: الحمل المسلط(N).

D: قطر أداة الغرز (mm).

d: قطر الأثر(mm).

٥-اختبار التوصيلية الحرارية(Thermal Conductivity):

إن الخاصية التي تميز قابلية المادة على نقل الحرارة هي التوصيلية الحرارية.وان الطريقة المعتمدة لقياس التوصيلية الحرارية للمواد العازلة هي طريقة قرص لي(Lee's disk method).

لحساب معامل التوصيل استخدم جهاز قرص لي المصنع من قبل شركة(Griffen & George)، يتكون الجهاز من أربع أقراص معدنية هي AوB حيث توضع العينة(S) بينهما والقرص الثالث يمثل المسخن ويليه القرص الرابع(C). وبالاعتماد على حساب كمية الحرارة في المادة خلال العينة ثم حساب قيمة معامل التوصيل الحراري (K) من المعادلة الآتية:

$$K\left(\frac{T_B - T_A}{d_S}\right) = e\left[T_A + \frac{2}{r}\left(d_A + \frac{1}{4}d_S\right)T_A + \frac{1}{2r}d_S T_B\right] \quad \ldots (6)$$

وتحسب قيمة(e) من العلاقة الآتية:

$$H = IV = \pi r^2 e(T_A + T_B) + 2\pi r e\left[d_A T_A + \frac{1}{2}d_s(T_A + T_B) + d_B T_B + d_C T_C\right] \ldots (7)$$

حيث ان

e: تمثل كمية الطاقة الحرارية المارة عبر وحدة مساحة القرص لكل ثانية ($w/m^2.k$).

T_A, T_B, T_C: درجة حرارة الأقراص A,B,C على التوالي.

d: سمك القرص (m).

I: التيار المار(Amper).

V: الفولتية المجهزة (Volt).

r: نصف قطر القرص (m).

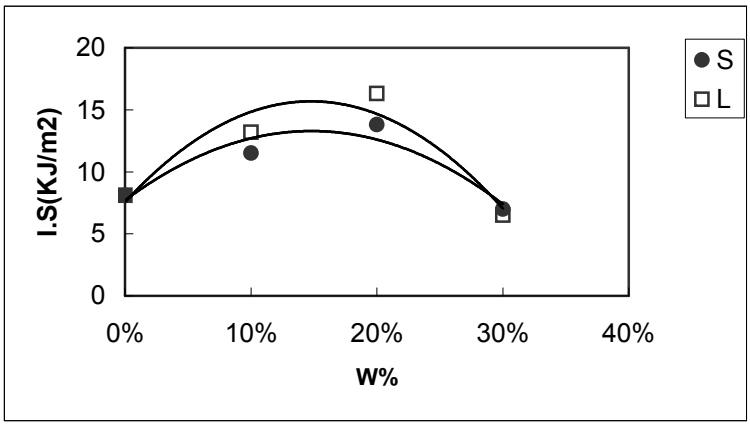
H: معدل الطاقة المجهزة في سلك التسخين بعد الوصول إلى الحالة المستقرة.

النتائج والمناقشة:

تم إجراء الاختبارات على راتنج البولي استر غير المشبع قبل وبعد التدعيم بالدقائق وبالنسب أنفة الذكر وكانت النتائج كالأتي:

١- اختبار الصدمة:

يشير الشكل (١) الى إن مقاومة الصدمة أعلى في المتراكبات المدعمة بالنسبة 10%و20% من تركيز الدقائق لكلاً من حجمي الدقائق في حين تهبط عند النسبة 30% من تركيز الدقائق حتى عن قيمتها البولي استر لوحده.



الشكل(١) يوضح العلاقة بين مقاومة الصدمة للمادة المتراكبة والنسبة الوزنية للدقائق لكلا الحجمين الصغيرة(S) والكبيرة(L)

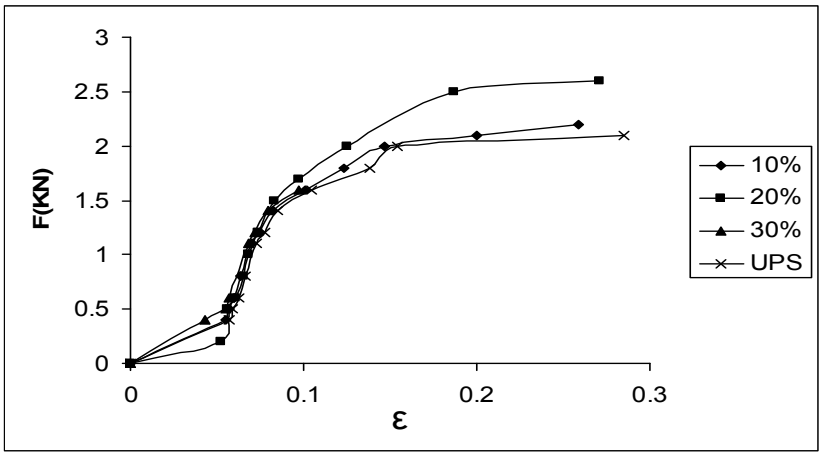
وكما يلاحظ من الجدولين (٢و٣) والشكل (١) مدى تأثير حجم الدقائق في قيمة مقاومة الصدمة إذ تزداد المقاومة في حالة حجم الدقائق الكبيرة وعند كلا النسبتين 10%و20%.

فعند تدعيم المادة البوليمرية بالدقائق فان طاقة الكسر السطحية لهذه البوليمرات سوف تزداد، إذ إن هذه الحشوات الدقائقية سوف تعمل على إعاقة نمو الشقوق الدقيقة،[٦-١١]وكما جاء في تفسير الباحثان (Moloney& Kausch) إذ تزداد المتانة بوساطة قابلية الحشوات على أعاقة الكسور وتحويلها مسببة بذلك زيادة المساحة السطحية للكسور[12].

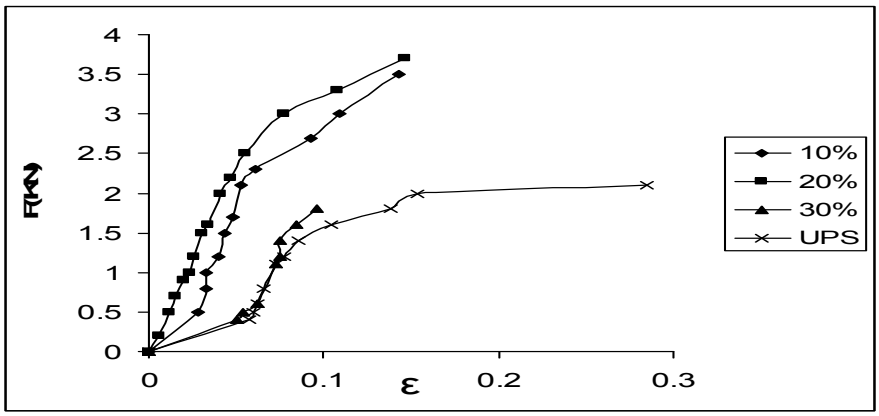
ففي حالة حجم الدقائق الصغيرة فان عملية إعاقة الكسر قلت مقارنة مع حالة حجم الدقائق الكبيرة. في حين تزداد الإعاقة مع زيادة التركيز لكلا الحجمين بسبب النقصان في المسافة البينية وبالتالي تعمل الدقائق على توزيع الإجهاد لتعطي مساحة أكبر إما الهبوط الحاصل في قيمة مقاومة الصدمة عند تركيز الدقائق (30%) قد تفسر إن المادة الأساس غير كافية لربط هذه الدقائق وتوزيعها بشكل متجانس ضمن المتراكب البوليمري عند هذا التركيز مما أدى إلى ضعف في بنية المتراكب البوليمري بشكل عام[١٣].

٢- اختبار الانضغاطية:

تم حساب أقصى مقاومة انضغاط للبولي استر الغير مشبع قبل وبعد التدعيم بالدقائق أظهرت نتائج مقاومة الانضغاط والموضحة بالجدولين (٢و٣) إن المادة المتراكبة المدعمة بالدقائق نوع الحجم الصغير تمتلك أعلى مقاومة انضغاط وتزداد مع زيادة النسب 10%و20%في كلا الحجمين وتهبط المقاومة عند النسبة الدقائق (30%)، ويبين الشكلان (٢، ٣) مدى زيادة مقاومة الانضغاطية للمادة المتراكبة المدعمة بالدقائق الحجم الصغير مقارنة مع المتراكبات المدعمة بالحجم الكبير ويمكن تفسير هذه النتائج إلى تأثير المسافات البينية بين الدقائق والتي تكون كبيرة في حالة الحجم الكبير التي تسبب زيادة في معدل المسار الحر، وبالتالي فان زيادة المناطق الغنية بالمادة الأساس (البولي استر الغير المشبع) والتي سببت هذه النقصان في مقاومة الانضغاط[١٤]. إما التباين الحاصل عند النسبة (30%) قد يعزى الى ضعف في بنية المتراكب البوليمري.إذ إن مقاومة الانضغاط تعتمد على قوة الترابط وتماسك السطح البيني بين المادة الأساس والمادة المدعمة . أذ تزداد متانة الانضغاط مع متانة السطح البيني[١٥].



الشكل (٢): يوضح العلاقة بين القوة المسلطة والانفعال (ε)للمادة المتراكبة بالدقائق الكبيرة

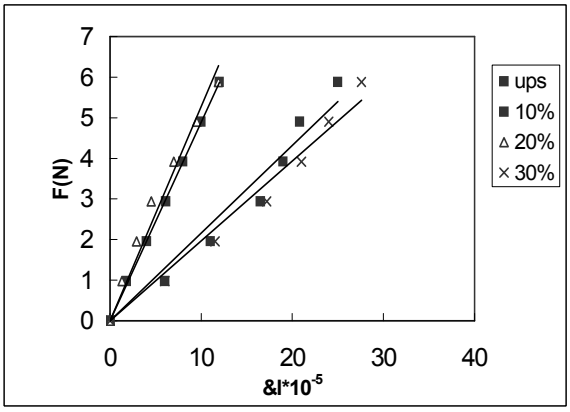


الشكل (3): يوضح العلاقة بين القوة المسلطة والانفعال(ε) للمادة المتراكبة بالدقائق الصغيرة

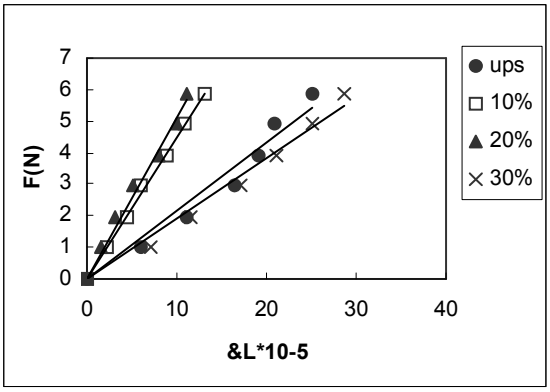
٣- اختبار الانحناء:

من ميل المستقيمات الموضحة في الشكلين(٤، ٥)والمرسومة بين القوة ومقدار الاستطالة، ومن العلاقة (٤)تم حساب معامل المرونة للبولي استر الغير مشبع قبل وبعد التدعيم بالدقائق والجدولين(٢ و٣) يبينان هذه القيم. أظهرت النتائج انخفاض في معامل المرونة للبولي استر غير المشبع مقارنة بالعينة المدعمة بالدقائق ويعزى ذلك إلى مقاومتها الضعيفة عند تسليط الإجهاد عمودياً على العينة إما في العينات المدعمة بالدقائق فقد لوحظ إن معامل المرونة في العينات المدعمة بالدقائق الحجم الصغير اقل من معامل المرونة للعينات المدعمة بالدقائق الحجم الكبير بمعنى إن جساءة المتراكب في الحالة الثانية اكبر، وازداد معامل المرونة مع زيادة النسب الوزنية (10%و20%) وانخفاضها عند النسبة (30%) في كلا النوعين من حجم الدقائق.

في المواد المتراكبة الدقائقية، فان كل دقيقة من الطور المنتشر ممكن إن تعتبر كشق أولي إثناء تسليط الإجهاد، إذ إن الشقوق ممكن إن تتكون خلال أو حول الدقائق إثناء مرحلة التصنيع نتيجة لبعض الانكماشات التي ممكن ان تحدث، وبذلك فان الشقوق المتكونة سوف لا تنقل الإجهاد وتزداد هذه مع صغر حجم الدقائق وهذا يقلل معامل المرونة ومع زيادة التركيز فان المسافات البينية تقل بين الدقائق وتقلل أيضا من الانكماشات مما يؤثر على قيمة معامل المرونة [٨] في حين الهبوط الحاصل في قيمة معامل المرونة عند تركيز الدقائق (30%) يعزى ذلك إلى ضعف في بنية المتراكب البوليمري[٩].



الشكل (٤) يبين العلاقة بين التغير في الطول والقوة الانحناء للدقائق الصغيرة

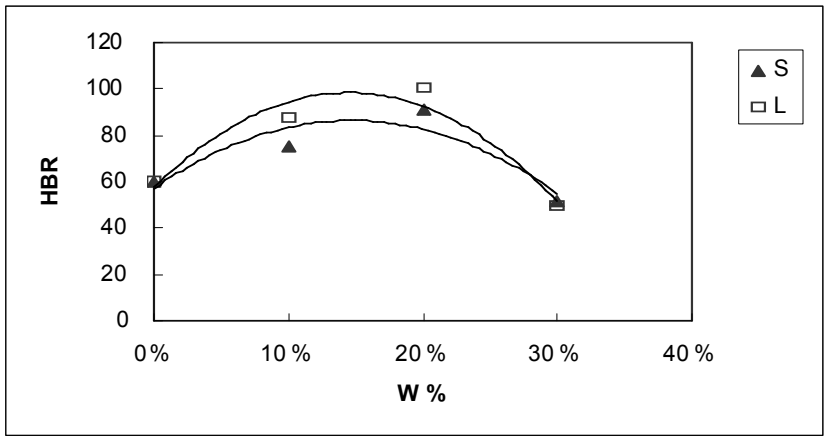


الشكل(٥) يمثل العلاقة بين التغير في الطول وقوة الانحناء للدقائق الكبيرة

اختبار الصلادة:

تعد الصلادة خاصية مركبة إذ أنها توحد بين خواص مقاومة التشوه والاختراق والتخدش.

إن المواد المتراكبة امتلكت قيمة صلادة أعلى من قيمتها للبولي استر غير المشبع وازدادت مع النسب المضافة (10%و20%) لكلا الحجمين والقيم موضحة في الجدولين(٢) و(٣) وبزيادة حجم الدقائق زادت صلادة المادة الشكل(٦) يوضح ذلك وقد يعود السبب إلى إن الدقائق نفسها تمتلك متانة وصلادة عالية مما أدت إلى زيادة صلادة المادة المتراكبة [١٠،٦].



الشكل(٦)يوضح العلاقة بين صلادة برينل والنسبة الوزنية للدقائق لكلا الحجمين الصغيرة(S) والكبيرة(L)

٤- اختبار التوصيلية الحرارية:

من ملاحظة القيم في الجدولين (٢و٣) والشكل(٧) نجد زيادة طفيفة لقيمة معامل التوصيل الحراري للمادة المتراكبة عنها للبولي استر لوحده وبزيادة تركيز الدقائق تزداد قيمة معامل التوصيلة الحرارية والسبب يعود إن مادة الدقائق هي ذات توصيلة أعلى مقارنة للبولي استر لوحده وعند زيادة حجم الدقائق نجد زيادة في قيمة معامل التوصيل الحراري وعموماً تعتبر الزيادة في معامل التوصيل الحراري طفيفة.

الشكل (٧) يوضح العلاقة بين التوصيل الحراري والنسبة الوزنية للدقائق لكلا الحجمين الصغيرة(S) والكبيرة(L)

الاستنتاجات Conclusions:

إن الدقائق الخشبية والمحضرة من قشرة جوز الهند والتي استخدمت كحشوات للبولي استر الغير مشبع أدت إلى تحسين في الخصائص الميكانيكية عند النسب المضافة (10%و20%) وتردي في الخصائص الميكانيكية عند النسبة(30%) وظهر تأثيرها طفيفاً على الخواص الحرارية إذ زادت قيمة معامل التوصيل الحراري لجميع النسب المضافة.

إن المتراكبات البوليمرية المدعمة بالدقائق الحجميه(μm 53−63) أظهرت تحسن أعلى في كل من مقاومة الصدمة ومعامل المرونة والصلادة في حين اظهرت مقاومة انضغاطية اقل مقارنة مع تلك المدعمة بدقائق حجميه (μm 10−20).في حين لوحظ تردي في الخصائص الميكانيكية للمتراكبات البوليمرية عند نسبة الدقائق (30%).

دلت هذه النتائج إلى إمكانية تطوير خواص البولي استر الغير مشبع الميكانيكية والحرارية من خلال إضافة الحشوات الدقائقية الخشبية والتي تكون ملائمة لاستخدامات متنوعة.

جدول (2) يبين قيم مقاومة الصدمة($\frac{KJ}{m^2}$)I.S واقصى مقاومة انضغاط $\sigma_{cs}(MPa)$ ومعامل يونك E_s(Gpa) وصلادة برينل HBr($\frac{N}{mm^2}$) ومعامل التوصيل الحراري $K\left(\frac{w}{m.c^\circ}\right)$ للدقائق ذات الحجم الكبير.

HBr(____	$K\left(\frac{w}{m.c^\circ}\right)$