Improving Some of the Mechanical Properties of Epoxy Resin Based Polymer Supported by Low Carbon-Steel Fibers

Naglaa Shakir Aziz

Middle Euphrates Technical University, Babylon Technical Institute

Naglaashakir73@gmail.com

Submission date:- 15/4/2019	Acceptance date:-30/5/2019	Publication date:-26/12/2019

Abstract

In the present study, specimens of composite material were prepared by Hand lay- up molding method. The epoxy resin was reinforced by low carbon steel fibrous at different weight ratios (2, 4, 6)% by the random distribution of steel fiber in the resin. Mechanical properties were studied through (Bending strength, Impact strength and Hardness) tests. The results showed an increase in bending strength of (63%) in the percentage of reinforcement (4%). As for the impact strength, the results also showed an increase of (15%) in the percentage of reinforcement (4 %) , while the rate of increase in the value of hardness was (18%) in the percentage of reinforcement(4%).

Keywords: Composite material, Epoxy resin, Low carbon steel fibrous, Mechanical properties.

تحسين بعض الخواص الميكانيكية لمادة بوليميرية ذات الاساس من راتنج الأيبوكسي المدعم بألياف الصلب المنخفض الكربون

نجلاء شاكر عزيز

جامعه الفرات الاوسط التقنية، المعهد التقني بابل

Naglaashakir73@gmail.com

الخلاصة

في الدراسة الحالية تم تحضير مادة متراكبة ذات اساس بوليميري بطريقة الصب اليدوي، وقد حضرت المادة المتراكبة من راتنج الأيبوكسي كمادة أساس مدعم بألياف من الصلب المنخفض الكربون وبنسب وزنية مختلفة (2, 4 , 6) % باتباع آلية التوزيع العشوائي للالياف في الراتنج. أجريت عليها اختبارات (الأنحناء، مقاومة الصدمة والصلادة) أظهرت النتائج زيادة في قيمه مقاومة الإنحناء بنسبة (63 %) عند نسبة التقوية (4%) من ألياف الصلب المنخفض الكاربون. أما مقاومة الصدمة فقد أظهرت النتائج ايضا زيادة في قيمتها بنسبة مئوية مقدارها (15 %) عند نسبة التقوية (4 %)في حين إن نسبة الزيادة في قيمة الصلادة كانت (18%) عند نسبة التقوية (4 %).

الكلمات الدالة: المواد المتراكبة، راتنج الأيبوكسي، ألياف الصلب المنخفض الكاربون، الخواص الميكانيكية.

1. **المقدمة:** احتلت المواد البوليمرية المتراكبة جزءا" كبيراً في الصناعة كمادة بديلة عن السبائك الفلزية أو المواد السيراميكية نظراً لما تتمتع به من خفة الوزن وكثافة واطئة والمتانة العالية خاصة بعد تقويتها بالألياف الصناعية كألياف الزجاج والكفلر وألياف الكربون وهذا ما دفع العديد من الباحثين لدراسة خواصها الفيزيائية والميكانيكية وكيفية تغير هذه الخواص مع الظروف البيئية مثل درجة الحرارة والرطوبة وغيرها [l]. تتكون المواد المتراكبة من المواد الأساس (Matrix) أو الطور المستمر (Continuous phase) الذي يعمل على صنع و ربط مادة التقوية (كالألياف والدقائق) وذلك من أجل تثبيتها والمحافظة عليها من التلف ، والمادة الأساس أما أن تكون معدنية والتي تمتاز بثقلها ومتانتها العالية أو قد تكون مواد سيراميكية والتي تمتاز بخفة وزنها ومقاومتها المرتفعة لدرجات الحرارة العالية ولكنها ضعيفة المقاومة لقوى الصدم [2] كذلك قد تكون المادة الأساس مواد بوليمرية وهي الأكثر إستعمالاً وإنتشاراً لما تتميز به من خواص ميكانيكية وحرارية جيدة، ومن الأمثلة على المواد البوليمرية راتنج الايبوكسي وراتنج البولي إستروالفينول [3]. مادة التقوية (Reinforcing Material): تزيد مواد التقوية من الخصائص الميكانيكية للمادة المتراكبة وهي تكون أما على شكل ألياف Fibers أو دقائق particulate وبأشكال مختلفة منها الأبرية والكروية والقشرية إلا إن أكثر أساليب التقوية شيوعاً هي التقوية بالألياف [4] نظراً لما تتمتع به من قوة كبيرة مقارنة بالمواد الراتنجية وتكون الألياف باشكال مختلفة فمنها مايكون بشكل مستمر أو مقطع أو بشكل ظفائر محاكة [5] إن الهدف الرئيس من التقوية بالألياف هو لتحسين الخواص الميكانيكية والفيزيائية للراتنجات حيث تزداد مقاومة الشدة والصدمة والصلادة بشكل كبير مما يسمح باستعمال هذه المواد المقواة في مجالات صناعية عنيفة ويطلق على هذه المواد بالمواد المتراكبة المتقدمة (Advanced Composites) وذلك لتفريقها عن المواد البوليمرية المحشوة(Filled Polymers) حيث تكون الألياف في هذا النوع من المواد المتراكبة هي المسؤولة بشكل رئيس عن تحمل الأحمال الخارجية[6]

في عام 1994قامت الباحثة الجنابي [7] بدراسة الخواص الميكانيكية لمتراكب بوليمري متكون من راتنج الأيبوكسي المدعم بألياف النخيل وبكسور حجمية مختلفة (18, 16)%بعد تعريض النماذج إلى درجات حرارة مختلفة، إستنتجت الباحثة أن متانة المادة تزداد بازدياد درجة الحرارة وبزيادة نسبة التدعيم بالألياف وقام الباحث J.Abenojar et,al (2011) [8] بدراسة تأثير الحرارة والرطوبة لمتراكبات الايبوكسي الممزوجة بالألياف و المهجنة مع حبيبات كربيد البورون وقد لاحظ تحسن في الخواص الميكانيكية للمادة المتراكبة الجديدة. وفي عام (2012) قام الباحث (د.علي حسن هذال وجماعته) [9] بدراسة تأثير الكسر الحجمي على الخصائص الميكانيكية لمتراكبات النوفولاك وإستنتج الباحث أن عملية التقوية بالألياف لمادة راتنج الأيبوكسي أدت إلى زيادة في قيمة الطاقة اللازمة لكسر المادة وبالتالي زيادة في مقاومة الصدمة وكذلك لاحظ الباحث زيادة في مقدار صلادة المادة

نتيجة الزيادة في مقاومتها للتشوه اللدن بسبب التسليح بالألياف حيث أبدت المادة المتراكبة الهجينة أعلى قيم للصلادة بسبب وجود خليط من الألياف كمواد للتدعيم ولكون خليط ألياف النايلون مواد تمتلك مقدار عالي من مقاومةالتشوه اللدن وهذا مما يؤكد التأثير الايجابي لعملية التدعيم بالألياف على الخصائص الميكانيكية للمادة المركبة .أما الباحثة(Falak.O.Abas 2011) et,al [10] قامت بدراسة تأثير أضافة كل من كاربيد البورون وأوكسيد السليكون وأوكسيد الألمنيوم وأوكسيد الزركونيوم على مادة الأيبوكسي وقد أثبتت النتائج إن أفضل تحسن في الخواص الميكانيكية هو لكاربيد البورون ولكافة الحجوم الحبيبية .

البحث الحالي يهدف الى الحصول على مادة متراكبة من راتنج الأيبوكسي المدعم بنسب وزنية مختلفة من ألياف الصلب المنخفض الكربون وإمكانية تحسين خواصها الميكانيكية من حيث زيادة قيمة مقاومة الإنحناء وقيمة مقاومة الصدم وقيم الصلادة وذلك لإستعمالها في التطبيقات الهندسية الواسعة بعد أن تبين في الأونة الأخيرة إستعمال متراكبات الأيبوكسي المدعمة بألياف الصلب في مجالات صناعة الطائرات والرادارات والسفن.

2. الجزء العملي

1.2. المواد المستعملة.

1.1.2 المادة الأساس (راتنج الأيبوكسي)

إن المواد المستعملة في تصنيع عينات البحث مكونة من المادة الأساس البوليمرية وهي راتنج الأيبوكسي نوع (Quick mast-105) وهو أردني المنشأ بامتياز من شركة (Fosroc) وهو أحد البوليمرات المتصلدة بالحرارة (Thermosetting Resins وهو سائل شفاف لزج أصفر اللون تبلغ كثافته حوالي (1.04 gm/cm3) ويتصف بخواص تميزه عن غيره من باقي انواع الراتنجات وهي انه شديد الالتصاق ومقاوم للاحتكاك حيث يقل انكماشه عند التجفيف.(2) وهو في الحالة السائلة تبلمره وتحويله للحالة الصلبة وذلك بأضافة المصلد له من نوع (Quick mast-105 Hardener) حيث يمتاز المصلد بكونه سائل شفاف خفيف ذو لزوجة وكثافة واطئتين ويخلط بإضافة ((100 gm من الراتنج مع (2 g) من المصلد عند درجة حرارة الغرفة والمواد الكيميائية سواء كانت حامضية أو قاعدية أو مذيبات حيث تشكل طبقه عازلة عند جفافها تستعمل كطلاء أو لاصق والجدول (1) يوضح الخواص الميكانيكية لراتنج الأيبوكسي : –

الجدول (1) يوضح الخواص الميكانيكية لراتنج الأيبوكسي

Young Modulus (Gpa)	Compressive Strength (Mpa)	Flexural Strength (Mpa)	Specific Gravity	Viscosity [MPa s]
4.5	73	50	1.04	**1.0**

2.1.2 مادة التقوية: -

استعملت ألياف قصيرة من الصلب المنخفض الكربون (Low Carbon-Steel Fibers) في تقوية راتنج الايبوكسي ويتميز ويتميز الصلب المنخفض الكاربون بأنه طري قابل للتشكيل ويحتوي على كربون بنسبة (% 0.15 - 0.05). سهل التصنيع، سعره منخفض نسبياً، ذو متانة عالية ويمتلك إجهاد شد منخفض نسبياً كما انه يحقق أعلى مقاومة للصدم، لذا فأن ألياف الصلب المنخفض الكاربون تتميز بكونها ذات جساءة عالية ومطيلية عالية مع كلفة منخفضة ومقاومة شد أعلى بكثير من مقاومة الشد للمادة الاساس (راتنج الأيبوكسي) وهذا مما ينعكس إيجابياً على كفاءة التسليح. ان الصفه الأساس لألياف الصلب المنخفض الكربون هي سعة الخضوع ((Yield Capacity مما يتجنب سهولة كسر الليف حيث أن معامل المرونة يكون بحوالي (200 Gpa) وهذا يتجاوز بكثير معامل المرونة للمادة الأساس. أن ألياف الصلب المنخفض الكربون تبدي تنوعاً في المميزات الفيزيائية والكيميائية وبالتالي

تسمح بنشوء متراكبات ذات خصائص هندسية نوعية وغالياً ماتكون هذه المتراكبات رخيصة الكلفة نسبياً، والجدول (2) يوضح أهم الخصائص الفيزيائية لألياف الصلب المنخفض الكربون.

جدول (2) يوضح أهم الخصائص الفيزيائية لألياف الصلب المنخفض الكربون

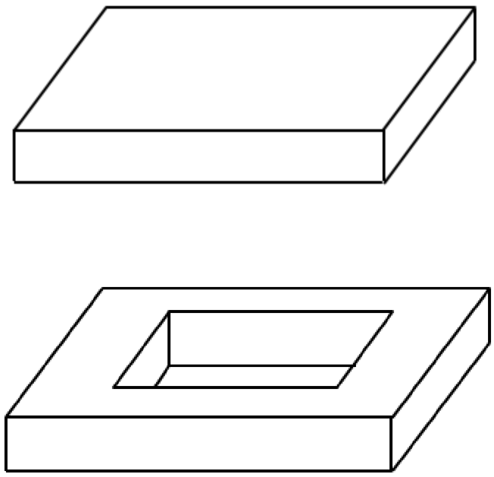
Diameter (mm)	Specific Gravity (g/cm^3)	Tensile Strength (Mpa)	Ultimate Elongation (%)	Elastic Modulus (Gpa)
3	7.85	200	0.5	**200**

2.2. تحضيرات العينات

شملت عملية تحضير عينات راتنج الأيبوكسي المدعم بألياف الصلب المنخفض الكاربون الخطوات التالية: –

1.2.2 تهيئة القالب

تم تهيئة القالب الخاص بعملية الصب والمصنع من مادة الخشب بالأبعاد التالية (الطول= 200 ملم، العرض= 50 ملم وارتفاع= 10 ملم) والمتكون من جزأين، كما مبين بالشكل (1) الجزء الأول يمثل القاعدة والجزء الثاني من القالب يشمل التجويف الذي يمثل شكل النموذج المطلوب الحصول عليه والذي تتم فيه عملية صب المادة المتراكبة ويتم تغليف قاعدة وجوانب القالب من الداخل بورق حراري مصنع من مادة البولي فينيل الكحول (PVA) وذلك لضمان استخراج العينة من القالب بعد تصلبها بسهولة.

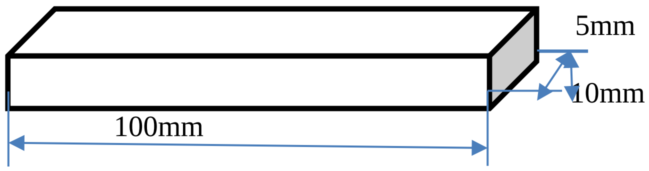
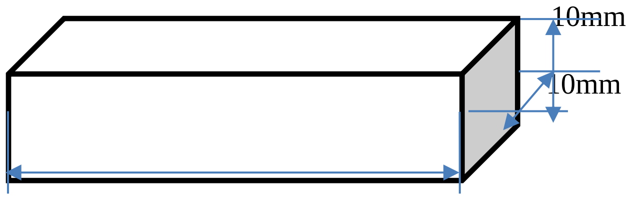
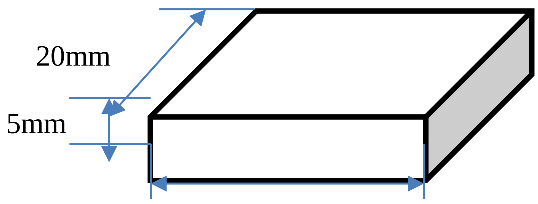


الشكل (1) يمثل تركيب قالب الصب

2.2.2: تحضير المادة المتراكبة

استعملت طريقه القولبة اليدوية Hand lay-up Molding في تحضير المتراكبات البوليميرية وذلك لأنها طريقة سهلة الاستعمال ويمكن الحصول منها على عينات بأحجام واشكال وابعاد مختلفة. تم أضافة (2gm) من مادة المصلد (Hardener) لكل (100 gm) من راتنج الأيبوكسي وخلطها جيداً بوساطة اللوح الزجاجي لغرض حصول التجانس التام بعدها يتم إضافة الألياف الموزونة مسبقاً بواسطة الميزان الألكتروني وبنسب وزنية (6,4,2) % على التوالي. ثم يتم صب الخلطات في القالب، يترك القالب فترة زمنية كافية في درجة حرارة الغرفة لكي يكتمل التصلب ومن ثم يوضع القالب في الفرن لمدة (3 ساعات) بدرجه حرارة (60 C0) لإتمام عملية المعالجة Curing يخرج القالب من بعدها من الفرن ليبرد النموذج ويتصلب ثم يتم تحريره من القالب حيث يتم تقطيع العينات وحسب أبعادها المطلوبة لكل إختبار، والجدول (3) يوضح الابعاد القياسية لعينات الإختبار المختلفة.

جدول (3) يوضح الأبعاد القياسية لعينات الأختبار.

Type of Test	Test specimen Specification	Standard System
Bending		ASTM – D 790 – 86
Impact		ASTM – D 250 – 87
Hardness		ASTM – D 2240 – 03

3.الاختبارات المستعملة

إجريت على النماذج المنتجة عدة اختبارات ميكانيكية هي إختبار مقاومة الإنحناء، إختبار مقاومة الصدمة وإختبار الصلادة.

1.3. إختبار مقاومة الإنحناء Flexural Strength

من المعروف إن إختبار الإنحناء يعتبر من الإختبارات المعقدة لإن العينة فيه تتعرض الى عدة اجهادات في نفس الوقت وهي إجهاد الشد الذي يحصل عند السطح الخارجي للعينة وإجهاد الضغط الذي يحصل عند السطح الداخلي للعينة وإجهاد القص الذي يحدث عند السطح البيني لها. وتفشل المادة المتراكبة بتأثيرإحدى هذه الإجهادات الثلاثة اعتماداً على نوع مادة التقوية والمادة الأساس وقوة الترابط بينهما.

تم الحصول على قيم مقاومة الإنحناء وأعلى إجهاد شد بواسطة إختبار الإنحناء ثلاثي النقط باستعمال ماكينة الشد موديل (WDW 200 E) المصنعة في الصين لقياس أقصى حمل مسلط على منتصف نموذج الإختبار، تم إجراء الإختبار على سرعة مقدارها 5mm/min وتم تنفيذ جميع الإختبارات في درجة حرارة الغرفة (23 ± 2 C0) والضغط الجوي. تم استخراج العينات من صفائح المواد المتراكبة التي يتم إعدادها وفقاً للمواصفة 86− (ASTM-D 790) حيث تم أخذ خمس قراءات لكل عينة وحساب المتوسط العام لهذه القراءات.

2.3. إختبار مقاومة الصدمة Impact Strength Test

تعتبر مقاومة الصدمة مقياساً لمتانة المادة حيث إن المواد الأكثر متانة هي التي تبدي اعلى مقاومة للصدمة. فالمادة البوليميرية ذات المتانة العالية هي التي تمتلك طاقة كسر عالية. ويمكن تحسين مقاومة الصدمة للمواد البوليمرية بأضافة بعض

المحسنات مثل المطاط، البيوتادين، اضافة الملدنات أو ترتيب وتراصف السلاسل البوليمرية، ولكن أكثر الطرق فاعلية هي تحسين مقاومة الصدمة هي التقوية بالألياف.

تم تصنيع نماذج اختبار الصدمة حسب المواصفة القياسية 87 - (ASTM-D250)، النموذج غير محزز ذو مقطع مربع الشكل طول ضلعه (10 mm) وطول النموذج (55mm) حيث استعمل جهاز فحص مقاومة الصدمة نوع شاربي (Charpy Impact Instrument) للتعرف على مدى مقاومة المادة المتراكبة لحمل الصدم وباستعمال العلاقة التالية :-

مقاومة الصدمة =الطاقة اللازمة للكسر / مساحة المقطع العرضي للعينة

وتقاس بوحدة (الجول / م^2)

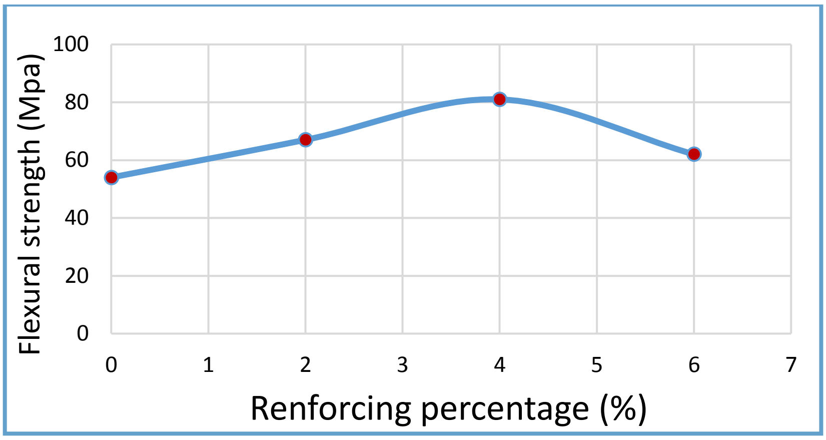
3.3 أختبار الصلادة Hardness Test

يعتبر وجود مواد التقوية (مواد التسليح) ضرورياً لرفع قيمة الصلادة للمواد البوليميرية باعتبار ان خاصية الصلادة تعد مقياسا لمقدار التشوه اللدن الذي تعاني منه المادة تحت تأثير الإجهاد الخارجي. استعمل جهاز قياس الصلادة نوع Shore-D (Shore-Durometer) الخاص بقياس صلادة المواد البوليميرية المصلدة حرارياً Thermosetting polymersوهو عبارة عن جهاز يشبه البوصلة ويحتوي على أبره في المنتصف. تتضمن طريقة الفحص وضع الجهاز بصورة عمودية على العينة المراد قياس صلادتها لكي تنغرز الأبرة في سطح المادة ثم الانتظار لمدة (15 sec) بعدها يتم أخذ قيمة الصلادة من الجهاز وان مقدار الضغط المسلط يساوي (50 N) وقد تم أخذ مالا يقل عن ثلاث قراءات في أماكن مختلفة من العينة وحساب المتوسط العام للقراءات

4. النتائج والمناقشة

1.4. نتائج إختبار مقاومة الإنحناء

من المعلوم، إن المواد تتعرض أحياناً الى كثرة إنحناءها اثناء عمليات التشغيل المختلفة في مجالات التطبيقات الهندسية الواسعة وان قيمة مقاومة الإنحناء لها تكون منخفضة نسبياً لذلك فعند تقويتها بالألياف نلاحظ ان هذه المقاومة تبدأ بالإرتفاع وهذا ما يوضحه الشكل (2)، حيث أظهرت النتائج زيادة ملحوظة في قيمة مقاومة الإنحناء Flexural strengths عند زيادة نسبة الاضافة للمادة المتراكبة من 67 Mpa الى 81 Mpa حيث كانت النسبة المئوية للزيادة هي (34 , 63) % على التوالي وتعزى هذه الزيادة الى توافقية جيدة هي المسؤولة عن تحمل الجزء الأكبر من الحمل المسلط على المادة المتراكبة بالأضافة الى تمتع ألياف الصلب المنخفض الكاربون بمتانة عالية ومطيلية عالية. وعند زيادة نسبة التقوية من 14% الى 6% نلاحظ من خلال الشكل انخفاض في مقدار قيمة مقاومة الإنحناء عند هذه النسبة من (81 Mpa) الى (62 Mpa) ويعود السبب في ذلك الي عدم نشوء توافقية بين المادة الأساس ومادة التقوية عند هذه النسبة من الزيادة وذلك لحصول تكتلات Conglomerates في مادة التقوية في بعض المناطق وخلوها في مناطق أخرى وهذا مما أدى الى حدوث هذا الأنخفاض في قيمة مقاومة الإنحناء.



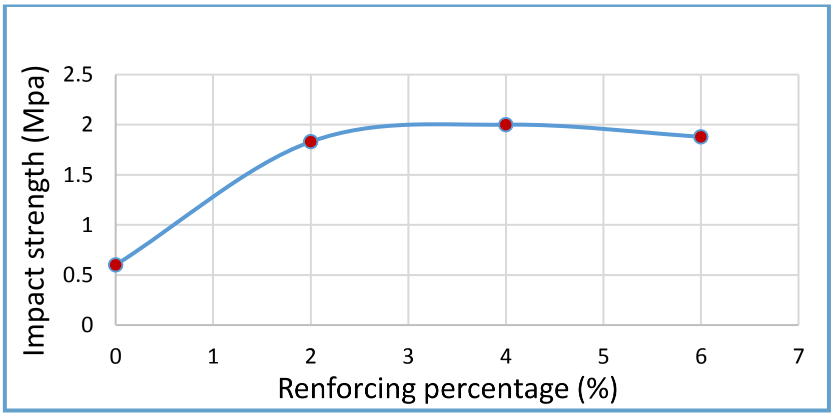
شكل (2) يبين مقاومة الانحناء كدالة لنسبة التقوية

2.4 نتائج أختبار مقاومة الصدمة

بشكل عام، تكون مقاومة الصدمة للمواد البوليميرية منخفضة نسبياً وذلك لطبيعتها الهشة. ولكن بعد تقويتها بالألياف تزداد قيمة مقاومة الصدمة لها.

وهذا يظهر بشكل واضح من الشكل (3)، حيث نلاحظ إرتفاع قيمة مقاومة الصدمة للمادة البوليميرية المقواة من (1.83 الى 2) Mpa عند زيادة نسبة التقوية بالألياف من 2% الى 4% على التوالي ويرجع السبب في ذلك الي تحمل الألياف للجزء الأكبر من طاقة الصدم المسلط على المادة المتراكبة مما يحسن من هذه المقاومة وهذا مما يتفق مع ماتوصل إليه الباحث [3] .

كذلك نلاحظ من الشكل انخفاض قيمة مقاومة الصدمة للمادة من (2 الى 1.88) Mpa عند زيادة نسبة التقوية بالألياف من 4% الى 6% ويعود السبب في ذلك الى عدم إنتظام توزيع مادة التقوية بالمادة الأساس وذلك بسبب حدوث تكتلات مادة التقوية في أماكن معينة وخلوها في مناطق اخرى مما يؤدي الى نقصان او إنخفاض مقدار قوة الترابط او التلاصق بين مادة التقوية والمادة الأساس وهذا بدوره يؤدي الى زيادة حدوث المناطق البينية الغير متماسكة بين مادة التقوية والمادة الأساس وزيادة حدوث العيوب ونقصان في مقدار الطاقة اللازمة لحدوث الكسر وهذا مما أشار اليه الباحث [11] وهي ان المادة تتمزق عند وجود التشققات في المادة الأساس وعند الحد الفاصل بين المادة الأساس ومادة التقوية

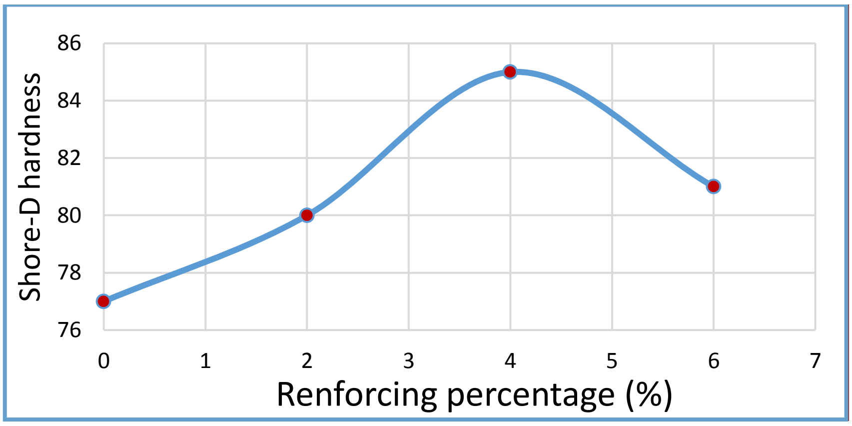


شكل (3) يبين مقاومة الصدمة كدالة لنسبة التقوية

3.4 نتائج اختبار الصلادة

تتميز المواد الراتنجية بإنخفاض قيم صلادتها بصورة عامة وذلك بسبب طبيعتها التركيبية الهشة. إلا ان قيم صلادتها ترتفع بشكل كبير عند تقويتها بالألياف وهذا يظهر واضحاً من الشكل (4) حيث نلاحظ إرتفاع قيمة رقم الصلادة للمادة المقواة من (80) الى (85) وذلك عند زيادة نسبة التقوية بألياف الصلب المنخفض الكربون من 2% الى 4% ويعود السبب في ذلك الى التوافقية العالية بين المادة الأساس ومادة التقوية حيث ان ألياف الصلب المنخفض الكربون تعمل على تقليل معدل الإختراق لسطح المادة المتراكبة حيث انها تتحمل الجزء الأكبر من الضغط المسلط على المادة المتراكبة وذلك لما تتمتع به من متانة ومطيلية عاليتين بالإضافة الى كونها ذات قابلية كبيرة لمقاومة التشويه اللدن مما ترفع من قيمة صلادة المادة نتيجة الزيادة في مقاومتها للتشويه اللدن وهذا يتفق مع ما توصل إليه الباحث [6] .

كذلك نلاحظ في الشكل إنخفاض في مقدار الصلادة من (85) الى (81) ويرجع سبب ذلك الى عدم توافقية إنتظام مادة التقوية في المادة الأساس وذلك عند زيادة نسبة التقوية بالألياف من 4% الى 6% إذ عند هذه النسبة من التقوية تحدث تكتلات وفجوات في المادة الأساس وهذا مما يؤدي الى إنخفاض في مقدار الصلادة للمادة المتراكبة.



شكل (4) يبين رقم الصلادة كدالة لنسبة التقوية

5. الإستنتاجات Conclusions

1- تحسن قيمة مقاومة الإنحناء لراتنج الأيبوكسي عند إضافة نسبة 4%من مادة التقوية (ألياف الصلب المنخفض الكربون) إذ وصلت نسبة الزيادة الى (63%) . وعند زيادة نسبة الإضافة الى 6% تنخفض نسبة مقاومة الإنحناء الى (25%) .

2- تحسن قيمة مقاومة الصدمة لراتنج الأيبوكسي عند إضافة نسبة 4% من مادة التقوية (الياف الصلب المنخفض الكربون) إذ وصلت نسبة الزيادة الى (15%) . وعند زيادة نسبة الإضافة الى 6% تنخفض نسبة مقاومة الصدمة الى (13%) .

3- تحسن قيمة الصلادة لراتنج الأيبوكسي عند إضافة نسبة 4% من مادة التقوية (ألياف الصلب المنخفض الكربون) إذ وصلت نسبة الزيادة الى (18%) . وعند زيادة نسبة الإضافة الى 6% تنخفض نسبة الصلادة الى (12%) .

CONFLICT OF INTERESTS.

- There are no conflicts of interest.

References:

[1] A. Davis, "Weathering of polymers " Springer Netherland, Applied science,1983.

[2] خالد رشاد الراوي ، رفقة عامر ((دراسة بعض الخواص الميكانيكية لمتراكب Epoxy - Mgo)) مجلة جامعة النهرين – العلوم، المجلد (17)، العدد (1) ، 2014.

[3] علي جاهل سلمان "استخدام التقوية بألياف الكربون لتحسين الخواص الميكانيكية لراتنج البولي إستر غير المشبع"، هيئة التعليم التقني، مجلة التقني، العدد الأول، المجلد 25، الصفحات 1-6، 2012.

[4] د.ميساء شاش "Studying the mechanical properties of composite material based on unsaturated polyester Reinforced with random fiber glass "، مجلة جامعة البعث-المجلد (37) العدد (10) لسنة 2015.

[5] د. عبد الفتاح طاهر "أساسيات علم وتقنية البوليمرات "، دار المريخ للنشر، المجلد (1)، الطبعة (1)، 2000.

[6] Ali Ibrahim Al Mosawi, "Reinforcing by hybrid fibers and its effect on thermal conducting for polymeric composites material", Al-Qadisiyah Journal for Engineering Sciences, pp.181-188, 2011.

[7] وفاء سعود الجنابي "تحسين الخواص الميكانيكية للمواد المتراكبة باستخدام الياف النخيل "، الجامعة التكنولوجية/ الهندسة العسكرية، المجلد (1)، الطبعة (1)، 1994.

[8] J. Banjar, M.A.Martinez , F.velasco , j.c.del Real- Romero,"Effect of moisture and temperature on the mechanical properties of an Epoxy Reinforced with boron car bid", Journal of Adhesion Science and Technology, Vo. (25), pp. 2445-2460, August 2011.

[9] د.علي حسن رسن هذال العزاوي ، رشدي ابراهيم جاسم محمد علي "دراسة تأثير الكسر الحجمي على قيم الخصائص الميكانيكية لمتراكبات النوفولاك "، مجلة كلية التربية الأساسية- الجامعة المستنصرية، المجلد (18)، الإصدار (72)، الصفحات 679-700، 2012.

[10]Dr. Falak.O. Abass , Sarmad.I.ibrahim and Raghad.U.Abass "Mechanical and Thermal Properties of Heterogonous Epoxy – Cellulose Fiber- Micron Ceramic Particles Composite Systems ", Eng.and tech.Journal, Vol. (29), NO. (10), 2011.

[11] د.سهامة عيسى صالح ، د.كاظم مطر شبيب، قحطان عدنان حمد "دراسة الخواص الميكانيكية لمواد متراكبة ذات أساس بوليميري مقواه بالألياف والدقائق "، مجلة الهندسة والتكنولوجيا، المجلد (28)، العدد (4)، 2010.