دراسة تأثير الكسر الحجمي على قيم الخصائص الميكانيكية لمتراكبات النوفولاك

د. علي حسن رسن هذال العزاوي
قسم الفيزياء / كلية العلوم / جامعة الكوفة
رشدي إبراهيم جاسم محمد
قسم الفيزياء / كلية التربية / الجامعة المستنصرية

الخلاصة:

تم في هذا البحث تحضير مواد (مادة أساس من النوفولاك ،مادة متراكبة ، مادة هجينة) تحوي مادة أساس واحدة هي النوفولاك مقواة بأنواع مختلفة من الألياف (ألياف الزجاج العشوائية + ألياف النايلون) وبكسور حجمية مختلفة .

إن جميع العينات الخاصة بالاختبارات الميكانيكية (الصدمة ، الصلادة ، الانضغاطية ومتانة الانحناء) كانت قد حضرت باستخدام طريقة القولبة اليدوية في تحضير القوالب .

أظهرت النتائج تحسنا كبيرا في خواص المادة المتراكبة الهجينة مقارنة مع باقي العينات الأخرى بالإضافة إلى ارتفاع في قيم الخصائص الميكانيكية مع زيادة في قيم الكسر الحجمي .

١ – المقدمة :

احتلت المواد البوليمرية المتراكبة حيزا كبيرا في الصناعة كمادة بديلة عن السبائك الفلزية أو المواد السيراميكية نظرا لما تتمتع به من كثافة واطئة (خفة في الوزن) ومتانة عالية خاصة بعد التقوية بالألياف الصناعية (ألياف الزجاج ، ألياف الكفلر ، ألياف الكربون) ونظرا لاستخدام راتنج الايبوكسي في العديد من الصناعات المحلية كالقوارب وحاويات الماء ..... الخ فان دراسة بعض الخواص الميكانيكية ضرورية لمعرفة مدى تحمل هذه المواد للظروف البيئية المختلفة مثل درجة الحرارة والرطوبة والتعرض إلى المحاليل الأكالة والإشعاعات المختلفة (١) والتي تمثل أهم العوامل المسببة في ظاهرة التحلل في البوليمرات والمواد المصنعة منها وذلك بتكسير الأواصر الكيمائية فيما بين الجزيئات في المادة الأساس أو في منطقة التقاء الليف بالمادة الأساس (٢) .

درس الباحث (٣) الخصائص الميكانيكية والحرارية لمواد متراكبة هجينة مكونة من راتنج البولي استر الغير المشبع كمادة أساس مقواة بخليط من الالياف الطبيعية والصاعية وبكسر

حجمي مقداره ٣٠% واستنتج الباحث انه عند الزيادة في درجة الحرارة سوف تقل قيم الخصائص الميكانيكية باستثناء مقاومة الصدمة حيث تزداد مع زيادة درجة الحرارة .

درس الباحث (٤) الخصائص الميكانيكية لمواد متراكبة مكونة من خليط من راتنج البولي استر الغير المشبع والايبوكسي كمادة أساس مقواة بخليط من الالياف الصاعية (الكاربون ، الكفلر ، الياف الزجاج) ودرس الباحث الخصائص (الشد ، الصدمة ، الانحناء ، الزحف ، الانتشارية في ثلاث محاليل مختلفة) واستنتج الباحث انه بعض المواد المحضرة تقاوم انتشار المحاليل HCl, NaOH بصورة اكبر من باقي المحاليل .

درس الباحث (٥) الخصائص الميكانيكية لمواد متراكبة مكونة من راتنج النوفولاك كمادة أساس مقواة بالياف الكاربون ، الاسبستوس ، الياف الزجاج ودقائق الالومينا . كذلك درس الباحث تأثير الحرارة والمحاليل والاشعة الفوق البنفسجية واستنتج الباحث انه عند تقوية النوفولاك تزداد قيم الخصائص الميكانيكية وان المحاليل والاشعة الفوق البنفسجية كانت ذات تأثير سلبي على كافة النماذج المحضرة .

درس الباحث (٦) تأثير الحرارة والمحاليل على قيم الخصائص الميكانيكية لمواد متراكبة هجينة مكونة من الخليط البوليمري (راتنج النوفولاك + الايبوكسي) كمادة أساس مقواة بخليط من الدقائق والالياف (الالومينا + السيليكا + الاسبستوس) واستنتج الباحث انه عند زيادة قيمة الكسر الحجمي تزداد قيم الخصائص الميكانيكية كذلك كان للمحاليل تأثير سلبي على قيم الخصائص الميكانيكية .

١ – ١ مقاومة الصدمة Impact Strength :- تعتبر فحوصات مقاومات الصدمة مقياساً لقوة المادة ومقاومتها للانكسار تحت تأثير الإجهاد عند السرع العالية (7) وكذلك تعد مقاومة الصدمة للمادة مفتاح لدراسة خواص المادة ويمكن تعريف مقاومة لعينة غير محززة هي الطاقة الممتصة أثناء التصادم إلى مساحة المقطع العرضي للعينة عند الكسر (8) فالمادة البوليمرية ذات المتانة العالية هي التي تمتلك طاقة كسر عالية. ويمكن حساب مقاومة الصدمة من العلاقة التالية (٨).

مقاومة الصدمة = الطاقة اللازمة للكسر / مساحة المقطع العرضي للعينة

وتقاس بوحدة (الجول / المتر المربع) وأن مقاومة الصدمة تعتمد على عدة متغيرات تتضمن نوع المادة و نظام الإجهاد Stress System وظروف التصنيع والظروف البيئية

(Fabrication Condition) والشكل الهندسي للقطعة (Geometry of Article) ومعدل الانفعال (Strain Rate) (٩) .

ويمكن أن تتغير مقاومة المادة بدرجة كبيرة من جراء طريقة التشوه حيث أن المادة التي تبدو قوية ومطاطية تحت الحمل الساكن ربما تظهر ضعيفة وهشة تحت تأثير إجهادات التصادم وكذلك تبدي المادة مقاومة مختلفة إذا تغيرت طريقة الفحص أو معدل تطبيق الإجهاد . ويمكن أن ينتهي التشويه المرن أو اللدن للمادة الواقعة تحت إجهاد خارجي بنوع من الانفعال اللامتجانس والذي يعرف بالكسر Fracture (١٠) .

أن هذه الفحوصات مهمة جداً من الناحية العملية حيث يمكن من خلالها حساب الطاقة اللازمة لكسر النموذج (Fracture Energy) تحت ظروف قياسية من درجة حرارة ورطوبة وغيرها وتكون مقاومة الصدمة للمواد البوليمرية المطيلية أعلى من مقاومة البوليمرات الهشة . ويمكن زيادة مقاومة البوليمرات عن طريق تدعيمها بالألياف التي تعمل على توزيع الإجهاد على حجم اكبر من البوليمرات وتقلل من احتمالية تمركزه وكذلك تمنع نمو الشقوق الصغيرة (Cracks) الموجودة في المادة نتيجة الصدمة .

أن قياس مقاومة الصدمة للبوليمرات تكون معقدة جداً وذلك لعدة أسباب منها تعدد فحوصات قوة الصدمة ، اختلاف الأساس الذي تعتمد عليه .

اختلاف أشكال و أبعاد النماذج المستخدمة في الفحص واختلاف نوع الإجهاد المستخدم في الفحوصات المختلفة واختلاف سرعة الإجهاد المفروض وغيرها (١٠) .

يعد العالم كرافث (Griffith) أول من وضع المبادئ الأساسية لآلية الكسر الخطي المرن. Linear Elastic Fracture Mechanism (10) .

فقد اقترح كرافث وفقاً إلى قانون حفظ الطاقة أن الطاقة المصروفة لتخليق أو تكوين سطوح جديدة خلال المادة يجب أن تبلغ قيمة طاقة السطح Surface energy وكما يلي :-

$$V_f \geq 2\gamma \qquad \ldots\ldots(١)$$

حيث أن : V_f :- الطاقة المصروفة لتخليق سطوح جديدة خلال الكسر .

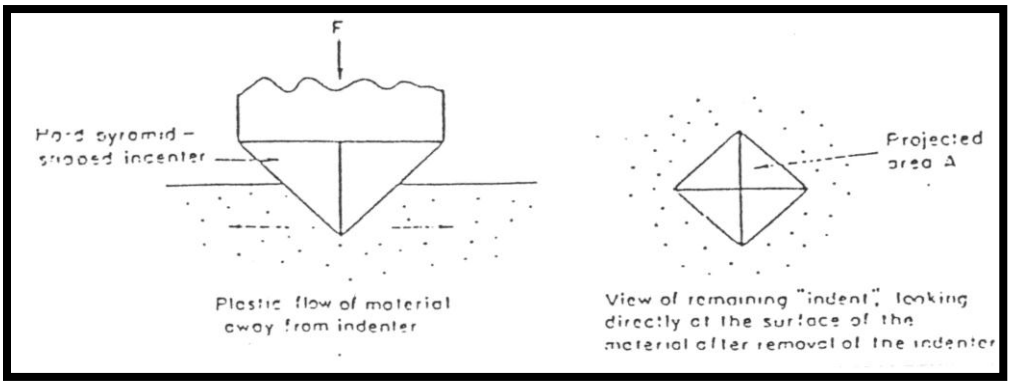
γ :- طاقة السطوح Surface Energy.

(٢) :- الرقم (اثنين) يشير إلى تخليق سطحين جديدين خلال الكسر .

١ – ٢ الصلادة Hardness :

يمكن تعريف الصلادة على أنها مقاومة المادة للغرز أو النقر (Indention) والتي تمكنها من الاحتفاظ بسطحها سليما متماسكا تحت تأثير الأحمال الخارجية وتعتمد صلادة المواد على نوع القوى الرابطة بين الذرات والجزيئات حيث تزداد الصلادة مع زيادة مقدار هذه القوى وتعتمد أيضا على نوع السطح ودرجة حرارته والظروف المؤثرة فيه (١٠) .

أن اختبار الصلادة يتضمن تحميل هرم ماس مدبب أو كرة فولاذية مصلدة . وضغطها إلى داخل سطح المادة المراد قياس صلادتها فالمادة التي يغطس فيها الباعج (Indenter) هي المادة الألين (Soft) والتي لها مقاومة خضوع (Yield Strength) أوطأ وتعتمد صلادة المواد على نوع القوى الرابطة بين الجزيئات وكذلك تتأثر الصلادة بنوع المحاليل التي تغمر فيها النماذج المختبرة وهناك عدة مقاييس معيارية مختلفة لتعيين صلادة الفلزات والمواد اللدائنية و أكثرها شيوعا هي طريقة روكيل (Rockwell) ،طريقة برنل (Brinall) وطريقة فيكرز (Vickers) وكل هذه الطرق لقياس الصلادة هي طرق ستاتيكية وهنالك طريقة أخرى لقياس الصلادة وهي الطريقة الديناميكية وتعرف بطريقة الارتداد (طريقة شورسكلروسكوب) تمتاز هذه الطريقة بكونها لا تترك أثرا على سطح المادة المراد قياس صلادتها بعد الاختبار كما أنها تستخدم في المعادن الشديدة الصلادة حيث يمكن إجراء اختبار صلادة الأثر لها (١١).



الشكل (١) يمثل اختبار الصلادة باستخدام هرم ماسي مدبب .

تتم طريقة برنل لقياس الصلادة بتغلغل كرة فولاذية داخل سطح المادة تحت تأثير حمل معين مما يؤدي إلى حصول اثر على هيئة جزء من سطح كروي مقطعه دائري يختلف قطره باختلاف خصائص سطح النموذج تحت الاختبار وتمر عملية التشوه هذه بثلاث مراحل أساسية الأولى تتم بحصول تشوه مرن (Elastic) وذلك عند بداية تغلغل أداة الغرز داخل سطح النموذج وباستمرار التحميل يتحول إلى تشوه مرن – لدن (Elastic- plastic) وعنده تتم المرحلة الثانية

أما المرحلة الثالثة فتحصل بعد رفع الحمل من النموذج الذي يعاني من اثر متبقي Residual impression عند سطحه (١٢) .

١ – ٣ متانة الانحناء (Flexural Strength) (F.S) :

لابد من الإذعان لمتطلبات المجالات التطبيقية التي تتضمن أحيانا كثرة إنحناء المواد أثناء تعرضها لظروف تشغيلها .لذلك فقد اجمع المختصون والباحثون على المنافع المتوقعة من أجراء اختبار متانة الانحناء Flexural Strength فكما يبدو هذا الاختبار يحدد مدى قابلية المواد للانحناء تحت تأثير الإجهادات المركزية ويقدم لنا صورة مستقبلية عن أقصى حمل تتحمله المادة عند الفشل والذي يطلق عليه بمتانة الانحناء (Flexural Strength) (10,8).

تمثل الليونة (Flexibility) إحدى أهم الخواص التي تتمتع بها البوليمرات عن غيرها سواء كانت مطاوعة أم متصلدة حراريا وأن التغير في قيمة متانة الانحناء يمثل أحد أهم دلائل مقاومة المادة البوليمرية للأحمال الخارجية (10,8).

في المواد المتراكبة المقواة بالألياف الموضوعة تحت تأثير الانحناء يمكن أن يحصل الفشل بـ (الشد أو الأنضغاط أو القص) أو اشتراكها جميعاً وتعتمد قيم متانة الانحناء بصورة خطية على نسب الكسر الحجمي للألياف ومقاومة القص للطبقات الداخلية (١٢) .

يمكن تعريف متانة الانحناء بأنها مقاومة المادة لإجهادات الانحناء بتعريض النموذج المختبري لاحمال مركزية مختلفة وأن مقاومة الانحناء القصوى هي حمل تتحمله العينة دون حدوث انهيار للمادة المتراكبة بعدة عوامل أهمها الحرارة والرطوبة ومعدل الانفعال. (١٢) .

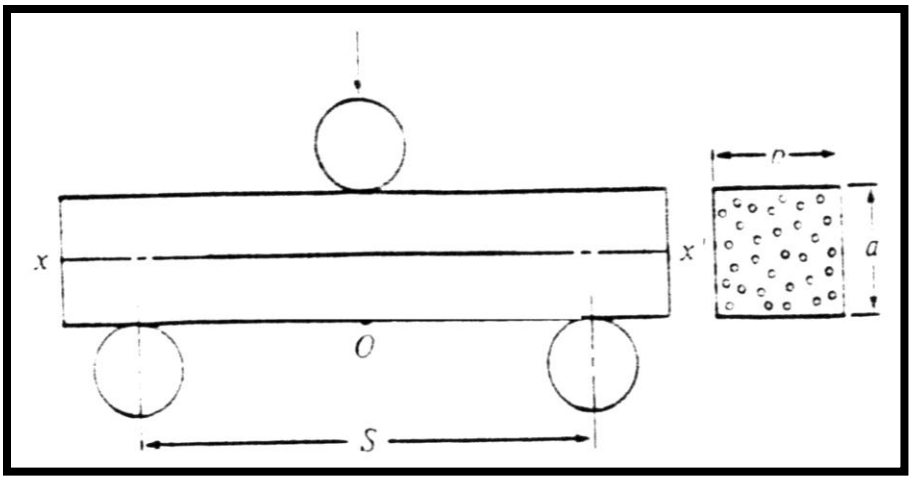
أما طرق قياس متانة الانحناء فتقسم إلى :-

١-الاختبار الثلاثي النقط Three Point Test .

٢-الاختبار الرباعي النقط Four Point Test .

فعندما تتعرض الهياكل المصنوعة من مواد متراكبة إلى تشوهات الانحناء لذا فأنها يجب أن تقاوم الإجهادات المتراكبة .ويمكن معرفة ميزات المادة المتراكبة تحت هذه الظروف وذلك بتعريض دعامة Beam قصرة مقواة

تقوية أحادية الاتجاه Unidirectional Reinforcement إلى الانحناء الثلاثي النقط Three Point Test وكما موضح في الشكل (٢) .



الشكل (٢) دعامة معرضة لانحناء ثلاثي النقط (٨).

لقد شاع هذا النوع من الفحوصات بصورة اكثر من النوع الآخر وذلك لسهولة استخدامه وبساطته في حساب متانة الانحناء (٨) .

يمكن حساب متانة الانحناء Flexural Strength اعتماداً على الاختبار الثلاثي النقط من العلاقة التالية :-

$$\text{flexcural strength} = \frac{3pL}{2bd^2} \qquad \ldots\ldots(٢)$$

حيث L: البعد بين نقطتي التحميل (m) .

b: عرض النموذج (m) . d: سمك النموذج (m) .

١ – ٤ مقاومة الانضغاطية Compression Strength

يمكن تعريف مقاومة الانضغاط على أنها أكبر قيمة للإجهاد المسلط الذي تتحمله المادة الجاسئة تحت الضغط العمودي وتعطى مقاومة الانظغاطية بالعلاقة الاتية:

$$\delta = \frac{P}{A} \qquad \ldots\ldots\ldots (3)$$

حيث أن :

P: الحمل المسلط (N) .

A:المساحة(mm^2).

يمكن حساب انضغاطية المادة (Compressibility) من العلاقة الاتية: (١٣)

$$\varepsilon_{com} = \frac{\ell - \ell_\circ}{\ell_\circ} \qquad \ldots\ldots\ldots(4)$$

حيث أن :

ℓ : الطول النهائي (mm).

ℓ_o : الطول الابتدائي (mm).

ε_{com} : الانفعال عند لحظة التشوه.

في حالة المواد المتراكبة فأن مقاومة الانضغاطية سوف تتحسن وذلك بسبب مواد التدعيم وخاصة للمواد المدعمة بالألياف. أن مقاومة الانضغاط تعتمد على عدة عوامل منها : إتجاهية الألياف ،قوة الترابط وتماسك السطح البيني بين المادة الأساس والمادة المدعمة ، فإذا كان السطح البيني قوياً ومتيناً فأن متانة الانضغاط سوف تتحسن بشكل ملحوظ وتصل تقريباً إلى متانة الشد. بينما في حالة كون هذا السطح ضعيفاً فأن المادة المدعمة سوف تنفصل بسهولة عن المادة الأساس ومتانة الانضغاط لاتصل أبداً لمستوى متانة الشد.(١٣)

٢ – الجزء العملي

٢ – ١ المواد المستخدمة

تقسم المواد المستخدمة في البحث إلى جزئين هما .

٢ – ١ – ١ المادة الأساس Matrix :–

تم استخدام راتنجات الفينول فورملديهايد (نوفولاك) المنتج محليا كمادة أساس وهو بشكل كتل مطاوعة للحرارة (Thermoplastic) شفافة اللون وذات رائحة مميزة يمكن تحويله إلى بوليمر متشابك باضافة مواد مصلدة (Hardener) من الهيكسا مثيلين تترا امين (HMTA) وهي بشكل مسحوق ابيض اللون والذي يضاف بنسبة (١١ – ١٣) % .

٢ – ١ – ٢ مواد التقوية Reinforcement Materials :– استخدمت الألياف (Fibers) كمادة لتقوية الوسط الراتنجي (النوفولاك) وهي على أربعة أنواع :–

١.ألياف الزجاج نوع (Glass Fiber) (E-Glass) (G.F)(CSM)

تعد ألياف الزجاج نوع (E-glass) من اشهر الأنواع التجارية الشائعة الاستعمال في تقوية راتنج النوفولاك و راتنج البولي استر الغير المشبع وراتنج الايبوكسي والمواد اللدائنية بصورة عامة وترجع شهرة هذه الألياف إلى كونها رخيصة الثمن سهلة الإنتاج والمعاملة علاوة على إنها تكسب المادة الراتنجية المقواة بها مواصفات خاصة جداً من قوة ومتانة عاليتين لذلك نجد إنها تصنع عالمياً بعدة أشكال .

لقد تم استعمال نوع واحد من الألياف الزجاجية (E-Glass) في الدراسة الحالية . بشكل ألياف قصيرة Short Fiber وبأطوال معينة تتراوح ما بين (6-8)mm وذات قطر (10-14) μm .

٢.الياف النايلون (Naylon Fiber)

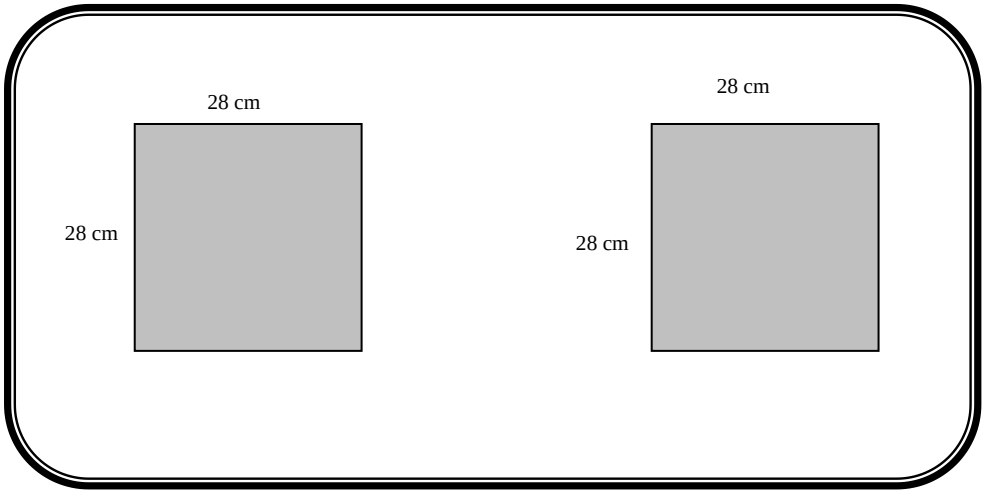
النايلون هو الاسم الذي أطلق على بولي الاميدات (Polyamides) الذي يعتبر التطبيق الصناعي للألياف الطبيعية مثل شعر الحيوانات الذي يتكون من بولي أميد معقد وبروتين وان هذه التراكيب تكون انسجه جيدة، وذلك بسبب احتمالية تآصر الهيدروجين بين ذرة الأوكسجين ذات القطبية العالية لإحدى السلاسل وهيدروجين مجموعة الاميد لسلسلة أخرى الذي يبين بأن هذا التأثير يتكرر عدة مئات من المرات عبر طول أي سلسلة ويجب إن يساعد في وضع السلاسل بالتركيب وينتج بوليمر ليفي بلوري.

ان النايلون المستخدم في تدعيم النوفولاك هو نايلو بولي كلوريد الفاينيل الذي ينتج في أوربا وأمريكا والذي يصنع من تبلور أميد حلقي الكاربولا كتام (Carbolactam) .

وتعد النايلونات من ألأنسجة الرائعة، لكن إمكانياتها في حفظ الإبعاد الفيزيائية(Physical Dimensions) جعلتها من المواد اللدائنية ذات التصليد الحراري.

٢ – ٢ عملية تهيئة القوالب Mold Preparation

١.لغرض صب الخليط تم تصنيع قالب وهو عبارة عن لوحين من الحديد المغلون وبالأبعاد ($28x28$) cm^2 وكما في الشكل (٣) .



الشكل (٣) يوضح شكل القالب المستخدم .

٢.بعد تهيئة القالب أجريت عملية تنظيف دقيقة تبعتها عملية التجفيف .

٣.لضمان عدم التصاق الراتنج على القالب بعد التصلب تم تغطية الوجه الداخلي من كل قالب بطبقة رقيقة من مادة النايلون التجاري بديلاً عن الشمع وبديلاً عن مادة البولي فينل الكحول (PVA) كمادة عازلة بعدها اصبح القالب جاهزاً لعملية الصب .

٢ – ٣ نسب الإضافة Addition Ratio's

تم تصنيع متراكبات وبكسور حجمية مختلفة % (10,20,30,40) وذلك بالاعتماد على العلاقات التالية (14).

$$\phi = \frac{1}{1+\frac{1-\psi}{\psi}\left(\frac{\rho_f}{\rho_m}\right)} \quad \ldots.(5)$$

حيث ψ :- الكسر الوزني للألياف في المادة المتراكبة .

ρ_f , ρ_m :- كثافة الألياف والمادة الأساس على التوالي .

ϕ :- الكسر الحجمي للألياف في المادة المتراكبة .

٢ – ٤ تقنية التحضير Preparation Technology

١.استخدمت طريقة القولبة اليدوية Hand-Lay Up Molding في تحضير العينات إذ تم تحضير :-

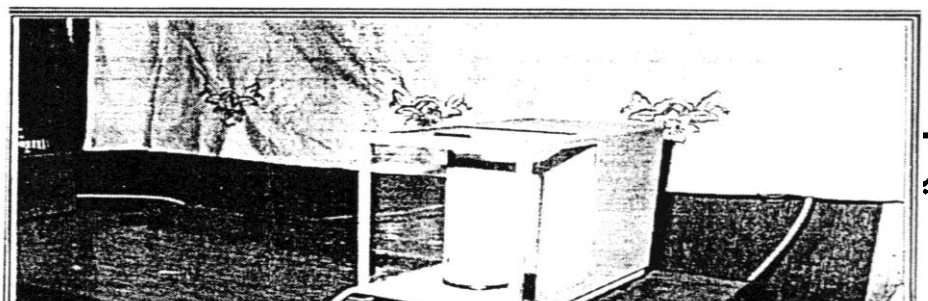
(a)عينة من مادة متراكبة (ألياف زجاج العشوائية + راتنج النوفولاك) .

(b) عينة من مادة متراكبة (ألياف النايلون + راتنج النوفولاك)

(c) عينة من مادة متراكبة هجينة (ألياف النايلون + ألياف زجاج العشوائية + راتنج النوفولاك).

٢.لغرض تهيئة راتنج النوفولاك النقي كمادة أساس حضر المزيج من الراتنج بالبادئ وحسب نسب الخلط (كل 100g من الراتنج تضاف أليه ١١ – ١٣ g من البادئ)

٣. عند تحضير المتراكبات الليفية الهجينة تم تقطيع حصائر الألياف المستخدمة بالأبعاد ($28x28\ cm^2$) ووزنّت باستخدام الميزان الحساس ذي درجة تحسس مقدارها (0.0001 g) والموضح في الشكل (٤) .



بحيث تحقق الكسور الحجمية المختلفة وحضر الراتنج المعالج بالبادئ ووزع فوق سطح القالب بشكل متساوي ومنتظم وأضيفت طبقة واحدة من ألياف الزجاج العشوائية وهذا في حالة تحضير العينة (a) .

أما عند تحضير العينة (b) فقد وضعت حصيرة من ألياف النايلون الى المادة الاساس

أما عملية تحضير العينة (c) فقد أضيفت طبقة من حصيرة ألياف النايلون إلى طبقة من ألياف الزجاج بحيث يكون موقع طبقة ألياف النايلون في موقع ملاصق الى ألياف الزجاج.

وضغطت بصورة عمودية على مستوى اللوح بفرشاة مسننة من الألمنيوم وذلك لطرد الفقاعات وللوصول إلى السمك المطلوب ويمكن تكرار العملية عدة مرات وبعد الانتهاء من التشكيل وضع اللوح المعدني على المادة المتراكبة وبعدها ترك المتراكب مدة ٢٤ ساعة بهذا الوضع لغرض إتمام عملية التصلب ثم فصل المتراكب .عن اللوح المعدني وترك فترة ست ساعات أخرى في درجة حرارة $60\ C^O$ وذلك لغرض إكمال التفاعلات الكيميائية .

٤. قطعت القوالب الخاصة بالفحوصات الميكانيكية حسب المواصفات الموضحة في الجدول (١) والخاصة بكل اختبار أجريت عملية التنعيم والصقل باستخدام أوراق كاربيد السليكون وبدرجات نعومة مختلفة وذلك بعد تثبيته في الجهاز الدوار للتنعيم .

ت	نوع الصفات	المواصفات القياسية
١	عينات اختبار الانضغاطية	ANSI\ASTM D638
٢	عينات اختبار الصلادة	ASTM - E10
٣	عينات اختبار متانة الانحناء F.S	ANSI\ASTM D790
٤	عينات اختبار الصدمة	ISO - 179

الجدول (١) يستعرض المواصفات القياسية للعينات الخاصة بالاختبارات التي تم إجراؤها (٢) .

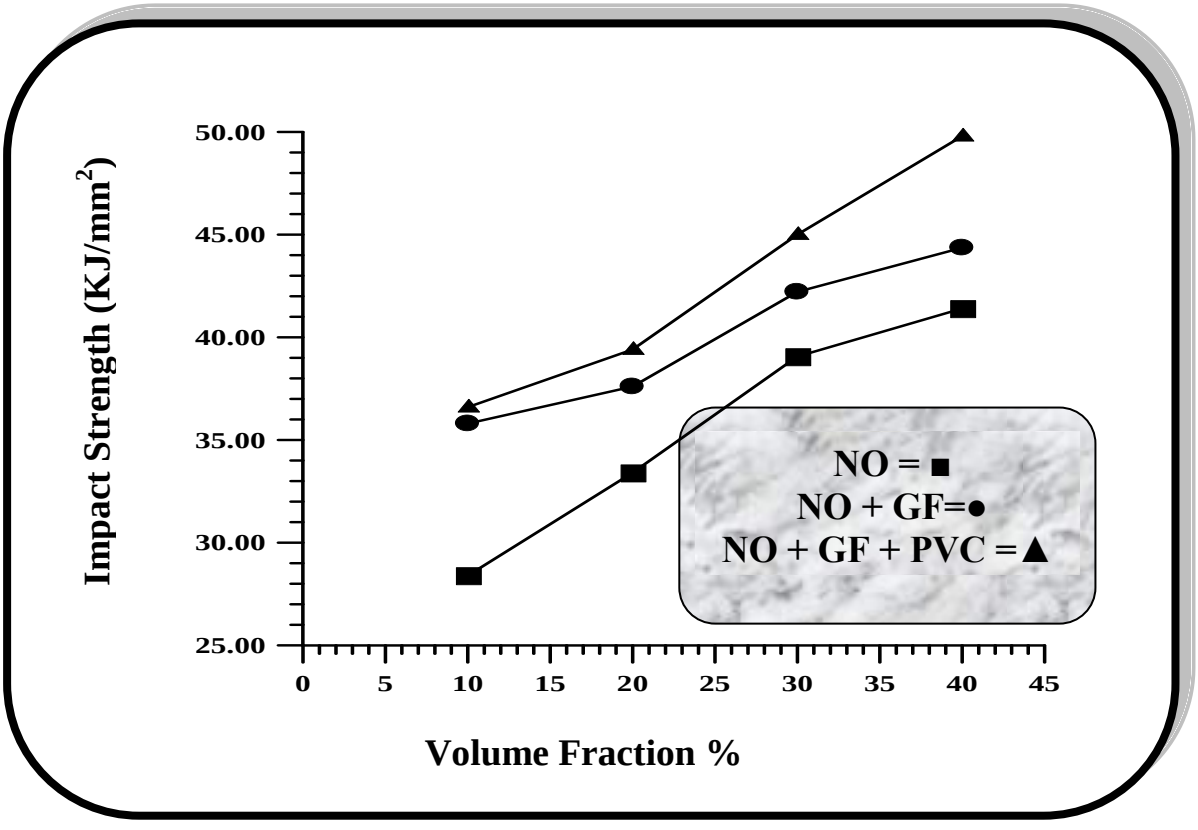
٣ – النتائج والمناقشة

٣ – ١ اختبار الصدمة

تـم أجـراء اختبـار الصـدمة بطريقـة جـاربي لحسـاب مقاومـة الصـدمة (Impact Resistance) للنماذج المختلفة عند درجات حرارية مختلفة وباستخدام المعادلة التالية :

Impact Resistance =Energy Absorption /Area At Crack .....(٦)

ويمثل الشكل (٥) تغير قيم مقاومة الصدمة مع التغير في الكسر الحجمي .فقد أبدت المادة المتراكبة الهجينة (ألياف الزجاج + الياف النايلون) أعلى مقاومة صدمة عند كسور حجمية مختلفة تليها المادة المتراكبة (الياف النايلون + راتنج النوفولاك) وأخيراً المادة المتراكبة (ألياف زجاج + النوفولاك) والتي أبدت خواص صدمة منخفضة مقارنة بالمواد المتراكبة الأخرى مع العلم إن جميع المواد المتراكبة المحضرة تحوي على الكسور الحجمية مختلفة .كما أبدت جميع النماذج زيادة في قيمة مقاومة الصدمة مع زيادة قيمة الكسر الحجمي للنماذج ويمثل الجدول (٢) نتائج مقاومة الصدمة للنماذج كافة عند كسور حجمية مختلفة .



شكل (٥) التغير في مقاومة الصدمة مع التغير في الكسر ألحجمي لمجموعة من المواد المتراكبة.

جدول (2) يبين التغير في قيم طاقة الصدمة مع التغير في قيم الكسر الحجمي لمتراكبات النوفولاك

Material	Impact Strength (Kj/m^2) Volume Fraction %			
	10	20	30	40
No	28.4	33.4	39.06	41.4
No + GF(CSM)	35.8	37.6	42.21	44.36
No + GF(CSM) + PVC(WR)	36.6	39.4	45	49.8

ان عملية التقوية بالألياف لمادة راتنج النوفولاك أدت إلى زيادة في الطاقة اللازمة لكسر المادة ، وبالتالي زيادة في مقاومة الصدمة لها هذه الزيادة كانت مختلفة اعتماداً على نوعية الألياف الداخلة في تركيبها وعلى مقدار الكسر الحجمي للألياف في المادة حيث إن هذه الألياف تعمل على إعاقة نمو الكسر بصورة عامة عند المقارنة ما بين طاقة الصدمة للنموذج المقوى بالألياف مع النموذج الغير المقوى بالألياف سوف يلاحظ زيادة في حالة الكسر في المادة المقواة بسبب وجود الألياف التي تتحمل الجزء الأكبر من الإجهاد الصدمي .

وبذلك سوف تعمل الألياف كمعوقات للكسر (Crack Stopper) (٨) إضافة إلى طبيعة المتراكب وخواصه الفيزيائية والهندسية .

في حالة المادة المتراكبة الهجينة (ألياف زجاج + ألياف النايلون + راتنج النوفولاك) يلاحظ ان الطاقة اللازمة لكسر العينات اكبر بالمقارنة مع المواد الأخرى على الرغم من أنها كانت مقاربة قليلا للمادة الأخيرة وهذا يهدف إلى تحسين ورفع خصائص ومتانة المادة .

بالإضافة إلى هذا فان الألياف تعمل على تقليل تركيز الإجهادات عند منطقة معينة وتمنع نمو الشقوق الصغيرة التي تحدث نتيجة الصدمة

إن النمو غير المستقر للشق يحدث عندما تكون طاقة الشغل (الطاقة المرنة) تتجاوز الطاقة اللازمة لتكوين السطوح الجديدة (١٤) .

إن العوامل التي تحدد ميكانيكية الكسر في المادة المتراكبة هي :-

١. الالتصاق بين المادة الأساس والألياف .
٢. النسبة بين الطول إلى قطر الليف L/D.
٣. منظر نهايات الألياف .
٤. مطيلية المادة الأساس.
٥. الإجهادات المتبقية نتيجة الاختلاف في قيمة معامل التمدد الحراري لمادة الألياف و المادة الأساس (١٥) .

لقد استنتج الباحث B.F. Blumentrit أن المادة المتراكبة تتمزق عند انسحاب الألياف Pull Out من المادة الأساس وهذا يحدث في حالة كون طول الليف اكبر من الطول الحرج وان

الشقوق تنشأ عند نهايات الألياف أو نتيجة وجود شقوق في المادة الأساس عند السطح الفاصل بين المادة الأساس والألياف (١٥) .

أن ألياف الكفلر ترفع من قيمة مقاومة الصدمة عند تدعيمها للمواد الراتنجية لما تتميز به من خواص متانة ومقاومة صدمة عاليتين تجعل المادة المتراكبة الحاوية عليها ذات خواص افضل بالإضافة إلى هذه الخصائص تمتاز ألياف الكفلر بصفة مميزة عن باقي الألياف وهي عدم اتجاهيتها وكذلك معامل القص الاحادي يكون اقل من معامل الشد الأحادي بمقدار ٢% (١١ , ١٢) .

إن السبب في زيادة قيمة مقاومة الصدمة للعينات الهجينة عن قيمة العينات الغير الهجينة وهذا نتيجة وجود نوعين من الالياف حيث امتصت طاقة اكبر من باقي العينات والتي تتحمل الجزء الأكبر من الإجهاد الصدمي حيث تعمل هذه الالياف على نقل الإجهاد وتثبيت الإجهاد المسلط على منطقة التأثير .

في عملية تقوية المواد الراتنجية يتم استخدام ألياف موجهة بزوايا معينة وصورة اكبر من استخدام الألياف العشوائية الاتجاه . خصوصا إذا كانت الألياف موجهة بزاوية ^{O}(0-90) ويعزى سبب ذلك إلى كون اتجاه الألياف موازياً لاتجاه القوة المسلطة مما يؤدي إلى تحمل إجهادات عالية وبالتالي إلى امتصاص الجزء الأكبر من الطاقة وهذا ما بينه الباحث (١٦) والذي لاحظ تغير في قيمة طاقة الكسر بتغير اتجاه الألياف.

أما في حال الألياف العشوائية CSM فإنها تبدي مقاومة صدمة عالية ولكن اقل من المواد للمتراكبة المسلحة بالألياف الاتجاهية ويعزى ذلك لوجود ليف أو اكثر بشكل زاوية أو اقل من قيمة الزاوية الحرجة التي عندها تظهر أعلى قيمة لطاقة الكسر .

وبصورة عامة وقبل الفشل الذي يحدث للمادة المتراكبة تمر المادة المتراكبة بمرحلتين. المرحلة الأولى هي كسر المادة الأساس Matrix والثانية هي الفشل الحاصل في الألياف ويمكن تعليل ذلك بآليتين أما أن تتمزق (Tear) الألياف أو تعاني انسلاخاً من المادة الأساس وتكون الطاقة المصروفة في المرحلة الثانية اكبر من المرحلة الأولى (١٧).

٣ – ٢ اختبار متانة الانحناء

تم في هذا البحث حساب متانة الانحناء لمواد متراكبة هجينة باستخدام العلاقة التالية :

$$F.S = \frac{3 \cdot P.S}{2bt^2} \qquad .....(٧)$$

حيث $F.S$ يمثل أقصى متانة انحناء مسلطة على العينة الهجينة .

P: أقصى حمل مسلط على العينة إلى أن يحدث الكسر .

S: البعد ما بين المرتكزين الذي تثبت عليها العينة .

b: عرض العينة الهجينة .

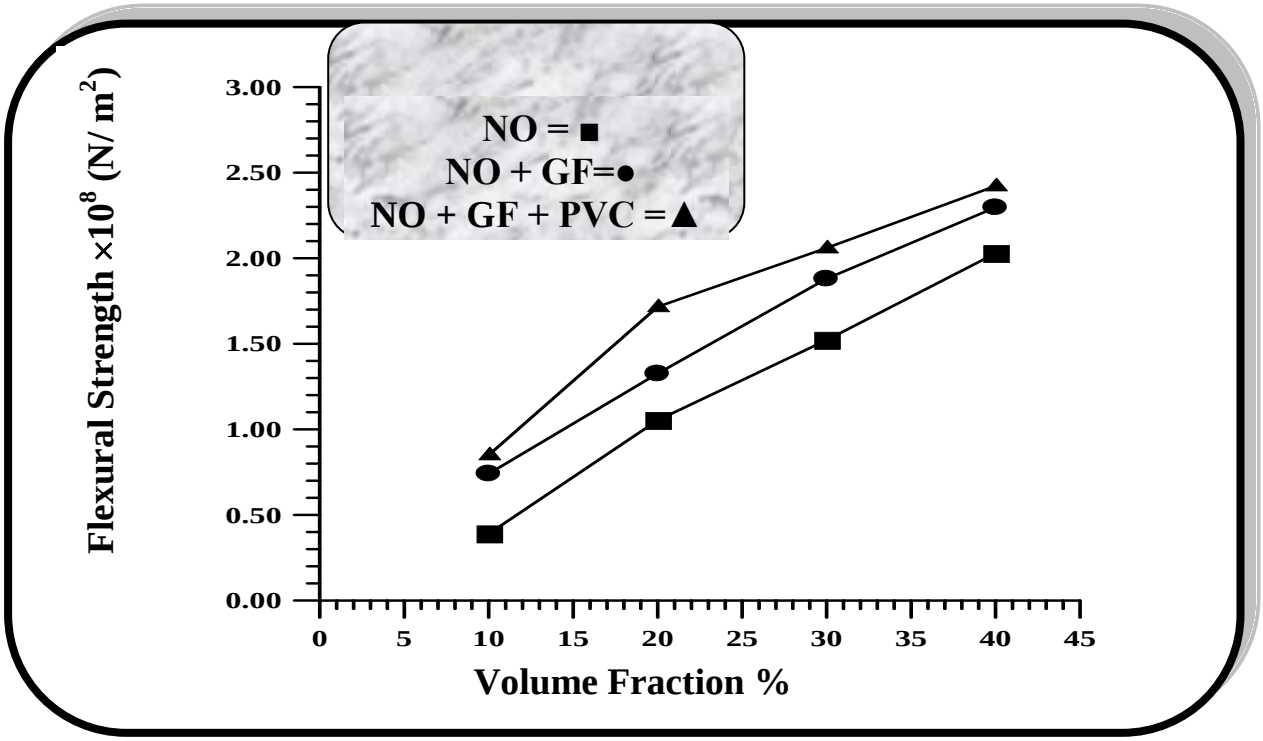
t: سمك العينة الهجينة .

ويتم حساب متانة الانحناء وذلك بتسليط حمل على العينات الهجينة المستخدمة إلى أن يحدث الكسر ويوضح الجدول (٣) قيم متانة الانحناء للعينات المستخدمة .

جدول (3) يبين التغير في قيم متانة الانحناء مع التغير في قيم الكسر الحجمي لمتراكبات النوفولاك .

Material	Flexural Strength (F.S) $\times 10^8$ (N/m^2)			
	Volume Fraction %			
	10	20	30	40
No	0.39	1.053	1.521	2.028
No + GF(CSM)	0.741	1.326	1.8798	2.297
No + GF(CSM) + PVC(WR)	0.85	1.716	2.059	2.4219

تم أجراء اختبار متانة الانحناء للعينات المحضرة المذكورة سابقا وبكسور حجمية مختلفة وتم رسم العلاقة ما بين $F.S$ والكسر الحجمي وكما موضح في الشكل (٦) .



شكل (٦) التغير في متانة الانحناء مع التغير في الكسر ألحجمي لمجموعة من المواد المتراكبة.

يستخدم فحص متانة الانحناء (F.S) بكثرة في تحديد أقصى إجهاد ثني تتحملها المادة الواقعة تحت تأثير إجهادات مسلطة بصورة عمودية على امتداد المستوي الأفقي لها .فقد تمكن العديد من الباحثين من دراسة سطح الكسر الحاصل في المادة بعد إخضاعها لهذا النوع من الاختبارات .

لقد توصل الباحثان (Shin) و (Ebert) خلال دراستهما ميكانيكية الفشل الحاصل بسبب متانة الانحناء لمواد متراكبة مكونة من البولي استر والايبوكسي كمواد أساس مقواة بالألياف الزجاجية الأحادية الاتجاه نوع E-Glass (١٨).

لقد استنتج الباحثان إن هنالك ثلاثة أنواع من الآليات تحدث في مواقع مختلفة و في الوقت نفسه تكون مسؤولة عن حدوث هذا النوع من الفشل في المادة المتراكبة وكما يأتي:-

١. الفشل بسبب الإجهادات الشدية قد يحدث الفشل في المادة المتراكبة بتأثير إجهادات شدية التي تؤدي إلى حدوث ظاهرة بروز الألياف قرب السطح المعّرض للشد Tensile -Side Surface المصحوبة بتكون الشقوق في المادة الأساس والتي يطلق عليها (Matrix Crack) ومع زيادة الحمل المسلط تنمو هذه الشروخ بسرعة تعتمد على مقاومة السطح البيني. ففي حالة وجود العيوب المتأصلة في منطقة السطح البيني فأن هذه الشقوق سوف تنمو بصورة سريعة جداً ممتدة من ليف إلى آخر بالأتجاه المستعرض. أما في حالة كون الروابط البينية قوية فان الألياف سوف تكون بمثابة حواجز تعمل على إعاقة نمو هذه الشقوق بالاتجاه المستعرض ومع استمرار زيادة الحمل المسلط سوف تتكاثر هذه الشقوق بالاتجاه الطولي على امتداد السطح البيني بعملية الاندماج (Coalesce) إن الانهيار يحدث في المادة المتراكبة حالما يحدث الاندماج ما بين الشقوق الممتدة بالاتجاه الطولي والمستعرض بعضهما مع بعض .

٢. الفشل بسبب الإجهادات الانضغاطية :- في المادة يحدث الفشل الابتدائي في العينة الخاضعة لاختبار الانحناء عند السطح الخارجي للعينة المعرضة للأنضغاط Compressive Side Surface لقد وجد من المحتمل حدوث الفشل في المادة المتراكبة بتأثير إجهادات الأنضغاط التي تؤدي إلى حدوث ظاهرة الانبعاج الدقيق Microbukling للألياف ومع استمرار زيادة الحمل المسلط سوف يزداد الانحراف المستعرض للألياف إلى ان يصل الانحراف إلى أقصى قيمة له عند ذلك سوف تنكسر الألياف وكما موضح في آلية الفشل الشدي فانه من البديهي إن يكون هذا السلوك تحطم الروابط البينية (١٨)

a) الفشل بسبب الإجهادات القصية :-إن شروخ القص المتولدة من الممكن إن تنمو بالاتجاه المستعرض وبالاتجاه الطولي لكن بصورة عامة فان شروخ القص تمتد بالاتجاه الموازي للسطح (18)

ومن الجدير بالذكر إن هنالك العديد من العوامل المؤثرة على تلك الآليات علاوة على مقاومة السطح البيني وهي نوع مادة التسليح المستخدمة و طول الليف وقطره و إتجاهية التسليح والكسر الحجمي للألياف والظروف الجوية المختلفة (١٩) .

إن استخدام مبدأ التسليح يؤدي إلى تجاوز أهم المشاكل التي تظهر في المواد الراتجية الغير مسلحة ذات الطبيعة الهشة ومن الأمثلة على ذلك (راتنج النوفولاك) الذي تنمو فيه الشقوق بصورة سريعة جداً عند تعرضه لهذا النوع من الإجهادات مما يقوده إلى الفشل عند الإجهادات الواطئة ومن ملاحظة الشكل (٦) للنماذج من مواد متراكبة يمكن ملاحظة كيفية تغير متانة الانحناء تبعاً إلى التغير في الكسور الحجمية بحيث تزداد متانة الانحناء للنماذج علماً إن قابلية المادة للكسر تعتمد بالدرجة الأساس على نوع الليف المستخدم واتجاهه في المادة الأساس وعلى متانة وشدة تحمله للظروف البيئية وهذا ما أكده الباحث Thomas(٢٠) .إن فشل المادة المتراكبة الخاضعة لاختبار الانحناء يمكن أن يكون ناتجاً عن تأثير إجهادات الشد والقص والأنضغاط معا وفيها تظهر الشقوق عادة عند مناطق العيوب التي تتمركز فيها الإجهادات ومن ثم تنمو هذه الشقوق بصورة سريعة جداً بعد حصول كسر بسيط لليف مما يقود إلى الفشل النهائي عند إجهاد واطئ نسبيا (٢١) .

إن عملية فشل المادة المتراكبة في هذا النوع من الاختبار تتضمن (كسر الليف و تشقق المادة الأساس والانفصال في الترابط (الليف –المادة الأساس).وحصول الإعاقة التي تؤدي إلى الفشل النهائي (22).

وفي بعض الحالات تتولد إجهادات موقعية (Local Stresses) يتركز الفشل بالقرب من السطح للـ (راتنج – ليف) التي يمكن إن تفسر كفشل بيني أو التصاق (راتنج – ليف) ضعيف .

وقد أثبتت الدراسة (٢٣) أن قوة الالتصاق الجيدة بين الألياف والمادة الأساس حالة مطلوبة ومهمة للغاية لغرض تحسين الخواص الميكانيكية للمادة الأساس . لقد لوحظ من خلال الزيادة الكبيرة الحاصلة في قيم متانة الانحناء ومقاومة الشد والصدمة للمادة المتراكبة الناتجة . يلاحظ من الشكل (6) أن أعلى قيمة متانة انحناء كانت لعينات المادة المتراكبة الهجينة حيث كانت

الإجهادات التي تحملتها عينات هذه المادة أعلى من تلك التي تحملتها عينات المواد المتراكبة الأخرى . وهذا يدل على إن إضافة خليط من الالياف كمواد تقوية إضافية هي التي تتحمل معظم الإجهادات وتعمل على توزيعها في المادة الأساس وبالتالي تحول دون تمركز الإجهادات في منطقة معينة والتي تؤدي إلى حدوث فشل في النموذج .

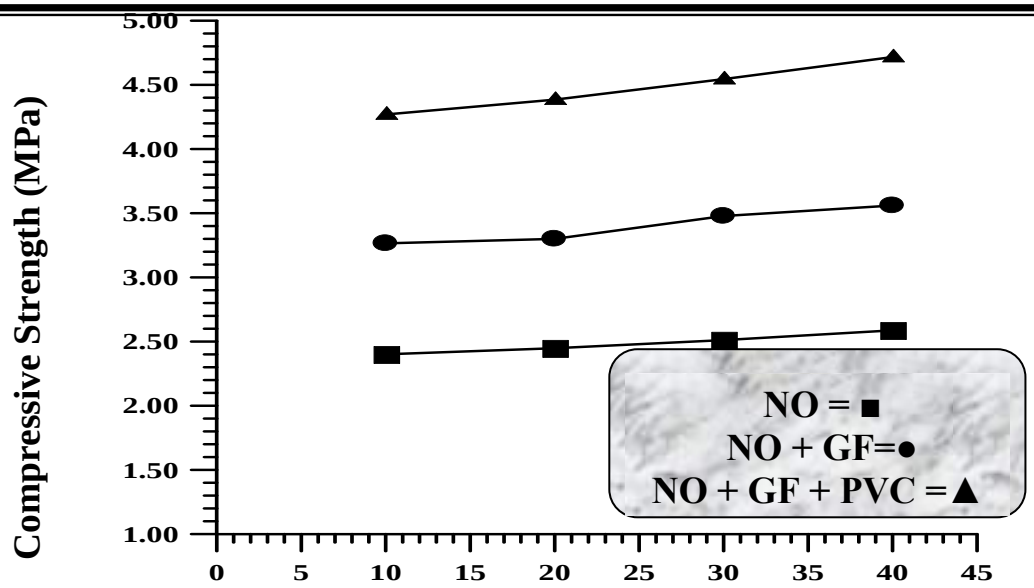
لقد أبدت المادة المتراكبة (ألياف زجاج عشوائية CSM + النوفولاك) اقل قيم لمتانة الانحناء ويعود سبب ذلك إلى الألياف العشوائية القصيرة . أي قصر الألياف في هذه الحالة لان لطول الليف أهمية في توزيع الإجهاد (٨) أما عينات المادة المتراكبة (ألياف النايلون + النوفولاك) فقد اتخذت حالة وسطية أي أعطت قيم متانة انحناء اقل من قيم متانة انحناء العينة الهجينة ويعود سبب ذلك لصغر مساحة الليف المعرض للقوى الذي سبب نقصان القوة اللازمة لإفشال العينة .

٣ – ٣ اختبار مقاومة الانضغاط

تم حساب أقصى مقاومة انضغاط لمواد متراكبة في كسور حجمية مختلفة والنتائج مبينة في الجدول (٤) أما الشكل (٧) فيبين تغير مقاومة الانضغاط تبعا لتغير الكسر الحجمي لجميع النماذج .

جدول (4) يبين التغير في قيم متانة الانضغاط مع التغير في قيم الكسر الحجمي لمتراكبات النوفولاك .

Material	Compressive Strength (Mpa)			
	Volume Fraction %			
	10	20	30	40
No	2.4	2.448	2.511	2.587
No + GF(CSM)	3.265	3.3	3.478	3.56
No + GF(CSM) + PVC(WR)	4.27	4.385	4.545	4.7169



شكل (٧) التغير في متانة الانضغاط مع التغير في الكسر ألحجمي لمجموعة من المواد المتراكبة.

تمتاز المواد الهشة مثل النوفولاك بمقاومة انضغاطية عالية مقارنةً بمقاومتها لإجهاد الشد (٨) ويعود السبب في ذلك لوجود الإجهادات الجديدة المتولدة نتيجة الشقوق في المادة.

فمقاومة الشد لهذه المواد تعتمد على توزيع العيوب حيث تعمل هذه العيوب كمناطق لتركيز الإجهادات وتنمو بالاتجاه العمودي لقوة الشد لذلك نلاحظ إن لهذه المواد مقاومة عالية للأنضغاط أن مقاومة الأنضغاط بالاتجاه الطولي (الموازي للألياف) يعتمد على عدة عوامل :-

١. خواص المادة الأساس ومواد التقوية .
٢. مقدار قوة الترابط عبر السطوح البينية .
٣. الكسر الحجمي لمادة الألياف .
٤. كمية الفجوات .
٥. ترصيف الألياف كونها غير متراصفة بسبب انبعاجها (٨) .

ويعد السلوك الانضغاطي للمواد المتراكبة من الخواص الميكانيكية المهمة التي اهتم بدراستها العديد من الباحثين إذ تعد مقاومة الأنضغاط الواطئة للمواد المقواة بالألياف (المتراكبة) من المشاكل الأساسية في بعض الأحيان . فقد وصف الباحث Rosen حالتين نظريتين للفشل الانضغاطي تمثلت بنمط الانبعاج (Buckling Mode) ونمط القص (Shear Mode) الذي

ينمو عبر الطبقات الداخلية ضمن المادة المتراكبة مما يؤدي إلى حصول الفشل بشكل متتابع نتيجة زيادة تشوه القص . وقد أوضح الباحث نفسه إن أحد أسباب حصول هذا النوع من الفشل يعود إلى وجود بعض العيوب في المادة التي تشكل مناطق لتركيز الإجهادات حيث انه من غير الممكن إن تصنع مادة خالية من العيوب بصورة تامة (٢٤) .

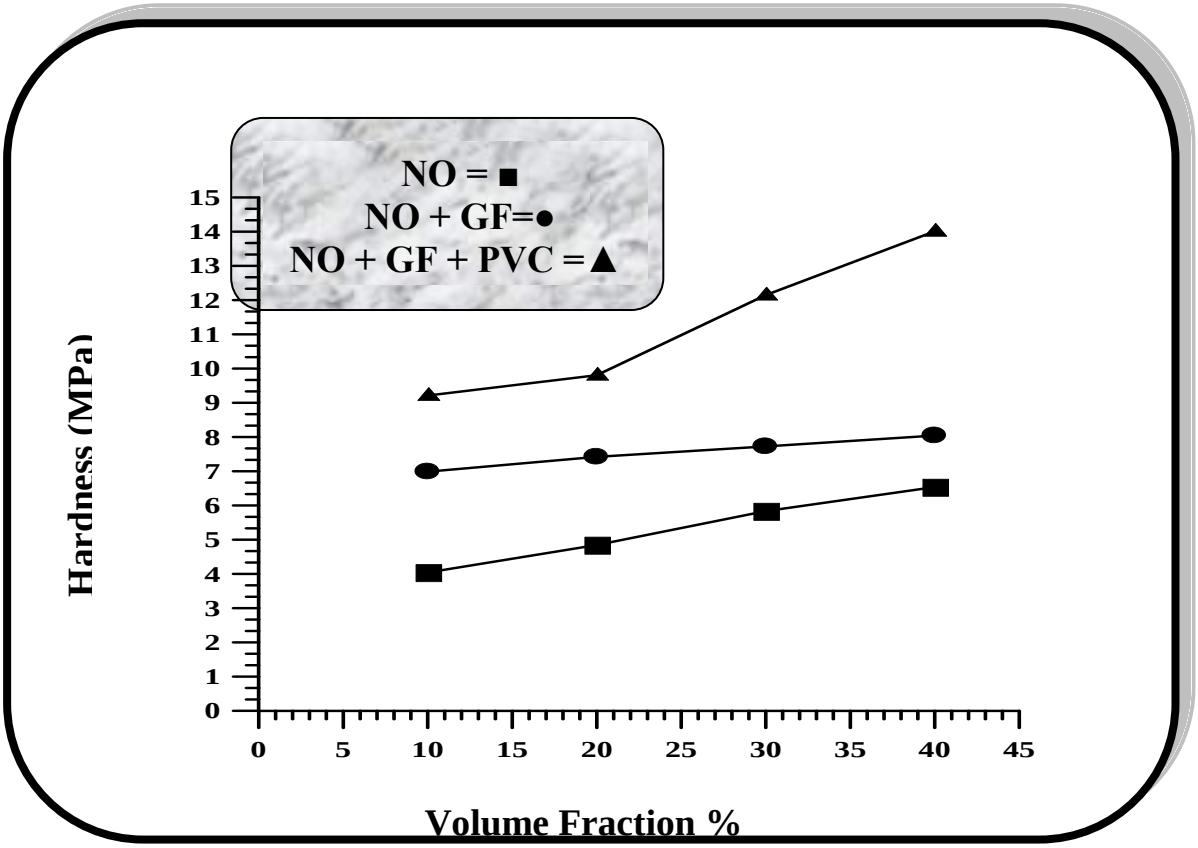
إن التأثير الإيجابي للتهجين لمادة متراكبة متعددة الطبقات واقعة تحت تأثير التحميل يتضح بدقة عندما تشكل الألياف تركيباً متجانساً مع بعضها البعض ويعتمد ذلك على عملية ترتيب الألياف واتجاهها في المتراكب الهجين (٢٥) ومن الشكل (7) نلاحظ إن المادة الهجينة قد أعطت أعلى قيم لمقاومة الأنضغاط يليها المادة المتراكبة المقواة بالنايلون وأخيراً المادة المتراكبة المقواة ألياف زجاج العشوائية .

ان السبب في كون المادة المتراكبة الهجينة أعطت أعلى قيم لمقاومة الأنضغاط وذلك لقابلية امتصاص ألياف الزجاج العشوائية العالية للمادة الراتنجية وبصورة اكبر من قابلية امتصاص الألياف المحاكة للراتنج . وكلما ازدادت قابلية امتصاص الألياف إلى المادة الراتنجية عندما تكون الحالة الصلبة فان المادة المتراكبة بعد تصلب الراتنج سوف تكون قوية دلالة على قوة الطور الثالث وهو السطح الفاصل (Interface) ما بين المادة الأساس والمادة المقوية وهي الألياف .

من الضروري التأكيد على عملية الترصيف القوي للألياف لأن الكسر يحدث اذا كان الانتشار الجانبي لا يعيق او يمنع العيوب الطولية التي ربما تنشأ بالقرب من منطقة التحميل والتي تميل بأتجاه موازٍ لألياف المادة المتراكبة وإذا حدث الانبعاج بشكل مبكر فأن هذا يعود إلى الفجوات .

٣ – ٤ اختبار الصلادة

تم أجراء اختبار الصلادة لكافة النماذج عند كسور حجمية مختلفة وباستخدام طريقة برنل حيث كان الحمل المسلط 1.5KN والذي يحسب باستخدام المعادلة برنيل . وبأخذ قراءة الأثر في النموذج الواحد أظهرت النتائج في قيم الصلادة مع الكسور الحجمية المختلفة حيث أعطت المادة المتراكبة الهجينة المقواة بخليط من الالياف أعلى قيمة للصلادة تليها المادة المتراكبة مقواة بالنايلون وأخيراً المادة المتراكبة المقواة بالالياف الزجاجية العشوائية CSM ويمثل الشكل (٨) والجدول (٥) قيم الصلادة للنماذج المختلفة وفي كسور حجمية .



شكل (٨) التغير في صلادة برنيل مع التغير في الكسر ألحجمي لمجموعة من المواد المتراكبة.

جدول (٥) يبين التغير في قيم صلادة برنيل مع التغير في قيم الكسر الحجمي لمتراكبات النوفولاك .

Material	Hardness (M Pa)			
	Volume Fraction %			
	10	20	30	40
No	4.041	4.843	5.8339	6.5369
No + GF(CSM)	6.987	7.419	7.723	8.041
No + GF(CSM) + PVC(WR)	9.212	9.803	12.147	14.011

ومن مفهوم الصلادة يمكن اعتبارها مقياساً إلى التشوه اللدن الذي يمكن إن تعاني منه المادة تحت تأثير إجهاد خارجي لذلك فان وجود مواد التقوية (مواد التسليح) ترفع من قيمتها صلادة المادة نتيجة الزيادة في مقاومتها للتشوه اللدن ولهذا فالمادة المتراكبة الهجينة كانت قد أبدت أعلى قيم للصلادة بسبب وجود خليط من الالياف كمواد تدعيم إضافية ولكون خليط الياف النايلون مواداً ذات مقدار عالٍ من التشوه اللدن (١٠) .

كذلك يؤكد التأثير الإيجابي لعملية التدعيم بهذا النوع من الألياف في تحسين خصائص المادة المتراكبة المحضر منها (١٠) .

بالإضافة إلى هذا فان الياف النايلون تعمل على توزيع الحمل المسلط على العينات على مساحة اكبر مما يؤدي إلى تقليل الإجهاد المسلط على وحدة المساحة وبذلك تزداد مقاومة سطح المادة للنقر (٢٦).

٤ – الاستنتاجات

١ – اعطت العينات الهجينة اعلى قيم خصائص ميكانيكية تليها العينات المقواة بالياف النايلون واخيرا العينات المقواة بالالياف الزجاجية العشوائية ويعود لكون المادة الهجينة تمتلك نوعين مختلفين من الالياف بحيث يتوزع الاجهاد على كلا طرفي التقوية بالتساوي .

٢ – تزداد قيم الخصائص الميكانيكية مع زيادة قيمة الكسر الحجمي .

المصادر

1 - Work W.J., Horie K. & Hess M.," Polymer Blends Definitions", International union of pure & applied chemistry, October (2004).

2 - Suryasarathi Bose and P.A.Mahanwar," Effect of Particle Size of Filler on Properties of Nylon-6", Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering,Vol. 3,No. 1,pp.(23-31), 2004.

3 - A.H.AL-Azzawi , M.Sc thesis, Applied science department, University of Technology, 2002.

4 - S. H. AL- Hadad, "Fabrication of carbon reinforced composites and studying their physical properties" PhD thesis, University of Technology, Applied sciences (2004).

5 - H.H.Thanon, "Investigation of Physical and thermal Properties for Novolac Hybrid Composites", PhD thesis, Applied Science Department, University of Technology, (2006).

6 - A.H.AL-Azzawi ,"The effect of some solutions on the physical properties of particulated composites " PhD thesis, Applied science department, University of Technology, 2008.

7- Won. J.P and Park C.G, **"**Effect of Environmental Exposure on the Mechanical and Bonding Properties of Hybrid FRP Reinforcing Bars for Concrete Structures **",** Journal of Composite Materials, 2005**.**

8 - D. Hall, "Introduction To Composite Materials", Cambridge University Press, (1981).

9 - R. J. Crawfor, "Plastic Engineering", 2nd ed., Pergamon Press, V. K., (1987).

10 - قصي كمال جبوري، "دراسة الخواص الميكانيكية للمواد متراكبة مقواة بالأسلاك المعدنية" رسالة ماجستير، هندسة المكائن والمعدات . الجامعة التكنولوجية، ١٩٩٨.

11 - NIIR Board," Polymers and Plastics Technology Handbook" Publisher: Asia Pacific Business Press Inc., 2006.

12 – أوهام محمد حميد، "دراسة تأثير التدعيم بالألياف على بعض الخصائص الفيزيائية لمواد متراكبة" رسالة ماجستير، علوم تطبيقية–الجامعة التكنولوجية،2000.

13 - Eliton S. de Medeiros , José A. M. Agnelli , Kuruvilla Joseph , Laura H. de Carvalho , Luiz H.C. Mattoso ." Mechanical properties of phenolic composites reinforced with

jute/cotton hybrid fabrics", Polymer Composites "26,1,1 –11, 2004.

14 - M.S. Bhantnagor, " A Text Book of Polymer Cjhemistry and technology polymer, processing and applications" vol. 111, (2004)

15 - B.F. Blumentritt, B. T. Vu and S. L. Cooper," Composite", Vol. 6, No. 3, May, (1975), p.p., (105-114).

16 - نداء عبد الزهرة العلاق،" دراسة متراكبات الايبوكسي المدعمة بالألياف والكريات الزجاجية"، رسالة ماجستير،قسم العلوم التطبيقية–الجامعة التكنولوجية،٢٠٠٠ .

17 - M. E. Gwlly JR. Owen, "Polmer Engineering and Science", Vol. 21, No.8, (1981).

18 - Ing-Nan Jan, Tzong-Ming Lee, Kuo-Chan Chiou, and Jiang-Jen Lin" Comparisons of Physical Properties of Intercalated and Exfoliated Clay/Epoxy Nanocomposites", American Chemical Society, 44, 2086 - 2090, 2005.

19 - K. S. Han and J. Koutsky, "Composite", Vol.14, No.1, (1983), p.p., (67–70).

20 - M.J.Folkes, S.T.Harwick,"Journal of materials Science" Vol.25,No. 5, May (1990).p.p(2598-2608).

21 - J.G. Vaughan, E. Lackey, D. Green, R. Swedo, T. Johnson, D. Trauth, "New Fast-Cure, High Strength Phenolic Resin Systems for Pultrusion" American Composites Manufacturers Association. October, 2004.

22 - Premamoy,Ghosh,and Vripati-Ranjan Bose,"Journal of Applied Polymer Science",Vol 58.(1995),p.p(2177-2184).

23 - C. D. Sfatos, A. M. Gutin and E. I. Sha-Khnovich, harvord University, Dept., of Chemistry, Joune 13, 2005

24 - Yaping Zheng, **"**Study of SiO_2 Nanoparticles on the Improved Performance of Epoxy and Fiber Composites **",** Journal of Reinforced Plastics and Composites, 24, 3, 223-233, 2005.

25 - Dr.B.M.Deya, M. Mohomed, "Study of Some Mechanical and Thermal Properties of Flacks Composite".٧٥العدد–البحوث التقنية –عجلة التقني 2001,p.p(54-64).

26 - Marino Xanthos , " Functional Fillers for Plastics" , WILY – VCH Verlay GM6H, (2005)

The effect of volume fraction on the mechanical properties of novolac composites

Abstract:

In this research work a materials were prepared (Novolac resin, composite material, hybrid material) contains a matrix which novolac resin (No) reinforced by different types of fibers (nylon fiber + short glass fiber), with different values of volume fraction for all material.

All samples were prepared by hand lay up process.

The results obtained showed good improvement of the values of mechanical properties of the hybrid composite material compared with other materials (matrix and composite) and the results showed that improvement of all mechanical properties with increasing the values of volume fraction for all material.