دراسة بعض الخواص الميكانيكية لمادة مركبة مكونة من راتنج الفينول فورمالدهيد المقوى بألياف كيفلار

علي إبراهيم الموسوي
المعهد التقني - بابل

مشتاق طالب البديري
جامعة القادسية

الخلاصة

إن الهدف من هذا البحث هو دراسة تأثير تغيير نسبة التقوية بالألياف على الخواص الميكانيكية للمادة المركبة المكونة من راتنج الفينول فورمالدهيد المقوى بألياف كيفلار ثنائية الإتجاه(0^o-90^o) ذات كثافة سطحية ($485g/cm^3$)، وقد شملت هذه الخواص كل من مقاومة الصدمة ومقاومة الشد والصلادة حيث تم في البداية إستخراج الخواص الميكانيكية لراتنج الفينول فورمالدهيد قبل التقوية بالألياف بعدها تم تدعيم الراتنج بنسب وزنية مختلفة من ألياف كيفلار (20%,40%,60%) و دراسة تأثير ذلك على الخواص المذكورة وكما موضح في المخططات البيانية .

الكلمات الدالة : المادة المركبة ، الخواص الميكانيكية ، راتنج الفينول فورمالدهيد ، ألياف كيفلار

Study of Some Mechanical Properties for Composite Material Consist of Phenol Formaldehyde Resin Reinforced by Kevlar Fibers

Ali I.Al-Mosawi
Technical Institute - Babylon

Mushtaq T. Al-Bdiry
Qadissiya University

Abstract

The objective of this research is to study the effect of changed the reinforcement percentage by fibers on Mechanical properties for composite material consist of phenol formaldehyde resin reinforced by biaxial kevlar fibers (0^o-90^o)(with ($485g/cm^3$) density which included impact strength , tensile strength , and hardness where we extracted the Mechanical properties for phenol formaldehyde resin before reinforced by fibers, then we reinforced the resin by different weight percentage from Kevlar Fibers(20%,40%,60%) and studied its effect on the above Mechanical Properties as illustrated in the diagrams .

Keywords:-Composite Material ,Mechanical Properties, Phenol Formaldehyde Resin , Kevlar Fibers .

المقدمة (Introduction)

عُرفتْ تقنية تصنيع المواد المركبة بأبسط صورها منذ قرون عدة حيث إستخدمها البابليون في بناء بيوتهم عن طريق خلط نشارة الخشب بمادة الطين لتقويته . تتكون المادة المركبة من دمج مادتين أو أكثر وتشمل الخلائط (Blends) والبلاستك (Reinforced Plastic) مختلفتي الخواص الميكانيكية والفيزياوية . إن عملية الدمج هذه تؤدي إلى الحصول على مادة جديدة ذات خواص هندسية وفيزيائية تختلف عن خواص المواد الداخلة في تركيبها . يوجد في الطبيعة الكثير من الأمثلة على المواد المركبة ومنها ألياف السليلوز مع مادة الخشب[حليم١٩٩٩]. أما في الصناعة فإن تقوية الراتنجات بالألياف الصناعية هي الأكثر إنتشاراً. و لتصنيع مادة مركبة يجب توفر مادتين هما :-

١- المادة الأساس (Matrix Material)

تكون مواد الأساس أما مواد معدنية(Metallic Materials) متكونة من المعادن وسبائكها وتتميز بثقل وزنها ومتانتها العالية ،أو قد تكون مواد سيراميكية(Ceramic Materials) والتي تمتاز بخفة وزنها ومقاومتها المرتفعة لدرجات الحرارة العالية ولكنها ضعيفة المقاومة لقوى الصدم. كذلك تكون المادة الأساس مواد بوليميرية(Polymeric Materials) وهي الأكثر إستعمالاً وإنتشاراً لِما تتميز به من خواص ميكانيكية وحرارية جيدة ، ومن الأمثلة على المواد البوليمرية راتنج الفينول والإيبوكسي والبولي أستر [حليم١٩٩٩].

٢- مادة التقوية (Reinforcing Material)

يجب توفر ميزتين أساسيتين في هكذا مواد وهي المقاومة العالية والمطيلية المنخفضة حتى تستطيع تقوية المواد الأساس . هناك عدة طرق للتقوية منها التقوية بالدقائق(Reinforcing by (Particulate والتي تكون بقطر أكبر من (1 µm) وبأشكال مختلفة منها الإبرية والكروية والقِشرية ، كذلك تتم التقوية بالتشتت(Reinforcing by Dispersed) ويكون قطر الدقائق أقل من (0.1µm). أما أكثر أساليب التقوية شيوعاً فهي التقوية بالألياف(Reinforcing by Fibers)نظراً لما تتميز به من قوة كبيرة مقارنة بالمواد الراتنجية ، وتكون الألياف بأنواع وأشكال مختلفة فمنها ما يكون بشكل مستمر أو مقَطع أو بشكل ظفائر محاكة[حليم١٩٩٩] .

إن الإستخدام العام للمادة المركبة يعتمد بشكل كبير على الخواص الميكانيكية والفيزيائية لهذه المواد لذلك فإن دراسة هذه الخواص تحت تأثير القوى والأحمال في ظروف مختلفة يكتسب أهمية كبيرة لمعرفة مدى ملائمة هذه الخواص لمكان عمل هذه المواد .

التقوية بالألياف (Fibers Reinforcing)

إن الهدف الرئيسي من التقوية بالألياف هو لتحسين الخواص الميكانيكية والفيزيائية للراتنجات حيث تزداد مقاومة الشد والصدمة والصلادة بشكل كبير مما يسمح بإستخدام هذه المواد المقواة في مجالات صناعية عنيفة . يطلق على هذا النوع من المواد المركبة بالمتقدمة (Advanced Composites) وذلك لتفريقها عن المواد المحشوة (Filled Polymers) .إن الألياف في هذا النوع من المواد المركبة هي المسؤول الرئيسي عن تحمل الأحمال الخارجية ، ومن أكثر أنواع الألياف شيوعاً في مجال المواد المركبة المتقدمة هي ألياف الزجاج والكاربون وألياف كيفلار[طاهر ٢٠٠٠] .

راتنج الفينول فورمالدهيد (Phenol Formaldehyde Resin) .

يعتبر راتنج الفينول فورمالدهيد من أقدم الراتنجات المستخدمة تاريخياً ، حيث يتم تحضير هذا الراتنج من تفاعل الفينول مع الفورمالدهيد ليعطي مركبات تكثيفية والعامل المحفز المستخدم أما حامض أو قاعدة وطبيعة الراتنج الناتج تعتمد على نوع المحفز المستخدم وعلى النسب الجزيئية بين المواد المتفاعلة (الفينول والفورمالدهيد) . يستخدم راتنج الفينول فورمالدهيد في الكثير من العمليات الصناعية ومنها إنتاج الأوعية التي تمتاز بمقاومة حرارية وعزل كهربائي وكذلك يستخدم في تطبيقات الفضاء كونه يتحول في درجات الحرارة العالية إلى الكاربون ليكون طبقة متفحمة عازلة وحامية لمقدمة المكوك الفضائي وغيرها من التطبيقات الأخرى[efunda2001] . **الشكل رقم (١)** يوضح التركيب الكيميائي لراتنج الفينول فورمالدهيد .

خواص المواد المركبة (Composite Materials Properties) .

تعتمد الإستخدامات العامة والهندسية للمواد المركبة إلى حد بعيد على خواصها الميكانيكية والفيزيائية مثل مقاومة الشد والمرونة وقابلية المادة للإستطالة ومقاومتها للحرارة والظروف البيئية مثل الرطوبة وأشعة الشمس وغيرها من الخواص التطبيقية الأخرى . إن جميع هذه الخواص تعتمد كثيراً على التركيب الجزيئي للراتنج وعلى وزنه الجزيئي وعلى القوى الجزيئية [سويلم١٩٩٤]. كما تعتمد هذه الخواص إلى حد كبير على مواد التقوية وعلى المواد المضافة مثل الحشوات والملدنات . ومن الخواص المناقشة في هذا البحث ما يأتي :

١- مقاومة الصدمة (Impact Strength) .

تُعبر مقاومة الصدمة عن قدرة المادة لمقاومة الكسر تحت تأثير حمل مفاجئ ، كما تعتبر مقياساً لمتانة المادة حيث المواد الأكثر متانة هي التي تبدي أعلى مقاومة للصدمة . ويمكن تحسين مقاومة الصدمة للراتنجات بإضافة بعض المحسنات مثل مطاط بيوتادين أو إضافة الملدنات أو بترتيب وتراصف السلاسل البوليمرية ولكن أكثر الطرق فاعلية في تحسين مقاومة الصدمة هي التقوية بالألياف .

٢- مقاومة الشد (Tensile Strength) .

تعتبر مقاومة الشد مقياساً لقابلية المادة على مقاومة القوى الساكنة التي تحاول سحب المادة وكسرها . تتكون المواد المركبة الليفية من ألياف قوية هشة مغمورة في المادة الأساس التي تتصف بكونها أكثر مطيلية . تبدأ المادة المركبة بالإستطالة بشكل خطي في البداية إستجابة للجهد المسلط ومع إستمرار التحميل يحصل إنحراف نتيجة لوصول المادة الأساس إلى نقطة الخضوع في حين تستمر الألياف بالإستطالة و المقاومة حتى تنهار مقاومتها[Lubin1976].وعندما تتهشم المادة الأساس تفشل المادة المركبة كلياً .

٣- الصلادة (Hardness) .

تُعرف الصلادة على إنها مقاومة المادة للخدش أو الإختراق ، وهنالك عِدة مقاييس عالمية مختلفة لتعيين صلادة المواد اللدائنية وأكثرها شيوعاً صلادة برينل وصلادة روكويل [أمل ١٩٩٥] . يحدث الإختراق بمعدل بطيء في سطح النموذج أثناء تسليط القوة لأجل الإختبار مما يؤدي إلى حدوث زحف موضعي ، وبعد زوال القوة المؤثرة تحصل إستعادة بطيئة نسبياً في الإختبار مما يؤدي إلى تغيير أبعاد الأثر المعتمد في حساب صلادة المادة ولمنع حدوث ذلك يتوجب الإلتزام بالفترة الزمنية المحددة لتسليط القوة على سطح النموذج [Crum1997] . تبرز أهمية إختبارات الصلادة في إعطاء كشف سريع لما يطرأ من تغيرات على الخواص الميكانيكية للمادة نتيجة لعمليات التصنيع والتغيرات الكيميائية والمعاملات الحرارية والتعتيق والتغيرات المصاحبة لعمليات التشكيل .

الجزء العملي (Experimental Work)

يتضمن الجزء العملي تحضير المواد الأولية وكيفية تحضيرها إضافة إلى الإختبارات الميكانيكية التي تم إجراءها على المادة المركبة .

أولاً- المواد المستخدمة في البحث .

تم في هذا البحث إستخدام المواد التالية والتي تم تصنيع النماذج منها وهي :

1- راتنج الفينول فورمالدهيد (Phenol Formaldehyde Resin)

يمتلك راتنج الفينول فورمالدهيد مقاومة حرارية وكيميائية جيدة وذو قابلية إشتعال واطئة .

2- ألياف كيفلار (Kevlar Fibers)

وهي عبارة عن بوليمر Poly(P-Phenyleneterephthalamide) والذي يحضر بالبلمرة التكثيفية لمركبي (Terephthaloyl Chloride) و(P-Phenylenediamine) . هذه الألياف تكون بهيئة سلسلة بوليمرية خطية غير متقطعة نتيجة الترابط الموجه لحلقات البنزين ، **والشكل رقم (٢)** يوضح التركيب الكيميائي لألياف كيفلار . في هذا البحث تم إستخدام ألياف كيفلار بشكل ظفائر محاكة ثنائية الإتجاه (0^o-90^o) ذات كثافة سطحية ($485g/cm^3$).

ثانياً- تحضير النماذج (Test Specimens Preparation) .

تم في هذا البحث تصنيع ثلاثة أنواع من النماذج خاصة بالإختبارات التي تم إجراءها وهي :

١- نماذج إختبار الصدمة (Impact Specimens) .

تم تصنيع نماذج إختبار الصدمة حسب المواصفات القياسية (ASTM-E23) والملائمة للفحص في جهاز الصدمة نوع شاربي (Charpy Impact) . عمق الحز في النماذج 0.5) (mm ونصف قطر قاعدة الحز(0.25 mm) وبزاوية حز مقدارها (45^o) .

٢- نماذج إختبار مقاومة الشد (Tensile Specimens) .

تم إعتماد المواصفة القياسية (ISO – R – 527) في تصنيع نماذج إختبار مقاومة الشد والموضحة في **الشكل رقم (٣)** .

٣- نماذج إختبار الصلادة (Hardness Specimens) .

تم تصنيع نماذج إختبار الصلادة على شكل أقراص دائرية بقطر (25 mm) وسمك (10 mm) تلائم إختبار الصلادة بطريقة برينل .

تم إضافة نسب وزنية مختلفة من أليـاف كيفلار(20%,40%,60%) لتصنيع عينات الإختبارات أعلاه وبواقع ثلاث عينات لكل نسبة وزنية وأخذ معدل القراءات لتقليص الإنحراف الحاصل في النتائج إن وجد .

ثالثاً – الإختبارات الميكانيكية (Mechanical Tests) .

تم في هذا البحث إستخدام ثلاثة إختبارات الميكانيكية للتعرُف على خواص المادة المركبة ، وهذه الإختبارات هي :

١- إختبار الصدمة (Impact Test) .

أُستخدم جهاز فحص مقاومة الصدمة نوع شاربي (Charpy Impact Instrument) للتعرُف على مدى مقاومة المادة المركبة لحِمل الصدم . الكاربون .ويمكن حساب مقاومة الصدمة من المعادلة التالية :

$$R = \frac{E}{A}$$

حيث :

R= مقاومة الصدمة (kj/m^2) .

E= الشغل أو الطاقة .

A= مساحة المقطع العرضي لنموذج الإختبار (mm^2) .

٢- إختبار مقاومة الشد (Tensile Test) .

أُستخدم هذا الإختبار لمعرفة خواص المادة المركبة تحت تأثير حِمل شد محوري بإتجاه واحد ، حيث تم إستخدام جهاز الإختبارات العام (Universal Instrument) في قياس هذه الخاصية وبمعدل حِمل (20 KN) . ويمكن حساب مقاومة الشد من القانون الآتي :

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

حيث :

σ = مقاومة الشد (N/m^2) .

F = الحِمل المسلط (N) .

A = مساحة المقطع العرضي للنموذج (m^2) .

٣- إختبار الصلادة (Hardness Test) .

تم إستخدام طريقة برينل (Brinell Hardness) لحساب صلادة المادة المركبة ، حيث أُستخدمت كرة فولاذية بقطر (5 mm) مع تسليط حِمل مقداره (10 Kg) لمدة (15 sec)

$$HB=\frac{P}{\left(\frac{\pi\times D}{2}\right)\left(D-\sqrt{D^2-d^2}\right)}$$

وبعد زوال القوة المؤثرة يتم قياس قُطر الأثر الناتج على السطح .ويمكـن إسـتخراج قـيم الصلادة من العلاقة التالية :

حيث :

HB = صلادة برينل (N/m^2) .

P = القوة المُسلطة (N) .

D = قُطر كرة الإختبار (mm) .

d = قُطر الأثر الناتج على السطح (mm) .

النتائج والمناقشة (Results and Discussion).

تمتلك الخواص الميكانيكية للمادة المركبة أهمية كبيرة في مجال إستخدام هكذا مواد ، حيـث يجب أن تكون قيم هذه الخواص عالية ومقبولة حتى تؤدي عملها بكفاءة . ومن خـلال هـذه الإختبارات التي أُجريت على راتنج الفينول فورمالدهيد المقوى بألياف كيفلار ثنائية الإتجـاه حصلنا على النتائج الموضحة في المخططات البيانية والتي تُمثل قيم مقاومة الـشد ومقاومـة الصدمة والصلادة نسبة إلى نسبة التقوية بالألياف .

١- مقاومة الصدمة . **الشكل رقم (٤)** يوضح قيم مقاومة الصدمة مع نسبة التقوية بالألياف ، حيث تعتبر مقاومة الصدمة بشكل عام منخفضة للراتنجات نظراً لهشاشتها ولكن بعد تقويتهـا بالألياف تزداد قيمة مقاومة الصدمة ويرجع السبب في ذلك إلى كون الألياف سـوف تتحمـل الجزء الأكبر من طاقة الصدم المسلطة على المادة المركبة مما يُحسن هذه المقاومة . وهكـذا تزداد مقاومة الصدمة مع زيادة نسبة التقوية بالألياف إلى(٤٠%) و (٦٠%) .

٢- مقاومة الشد . تعتبر الراتنجات من المواد الهشة حيث مقاومتها للشد منخفضة جداً وهـذا ما نراه في **الشكل رقم (٥)** ، ولكن عند إضافة الألياف إلى هذه المواد تتحسن مقاومتها للـشد بصورة كبيرة حيث إن الجزء الأعظم من الجهد المسلط تتحمله الألياف مما يرفع مقاومة الشد للمادة المركبة وذلك لأن الألياف تتميز بمطيليتها المنخفضة . وتزداد مقاومة الشد بزيادة نسبة الألياف المضافة حيث تشغِل الألياف حيز أكبر داخل الراتنج مما يسمح بتوزيع الحِمل المسلط عليها بشكل أفضل .

٣- الصلادة . تتميز المواد اللدائنية بشكل عام بإنخفاض صلادتها حيث نلاحظ من **الشكل رقم (٦)** تدني قيمة صلادة راتنج الفينول فورمالدهيد قبل التقوية بالألياف ، إلا إن قيمة الـصلادة ترتفع بشكل حاد عند التسليح بألياف كيفلار نظراً لتوزيع الحِمل على الألياف مما يقلل معـدل الإختراق لسطح المادة المركبة ويرفع قيم صلادتها . وتزداد صلادة المادة المركبة مع زيـادة نسبة الألياف المضافة لنفس السبب المذكور أعلاه .

الإستنتاجات (Conclusions) .

من خلال النتائج التي تم الحصول عليها يمكن الخروج بالإستنتاجات التالية :

١- إنخفاض قيم الخواص الميكانيكية لراتنج الفينول فورمالدهيد كونه من المواد الهشة .
٢- تحسُن قيم هذه الخواص الميكانيكية لراتنج الفينول فورمالدهيد بعد تقويته بألياف كـيفلار ثنائية الإتجاه لأن الحِمل الأكبر المسلط على المادة المركبة الناتجة سوف تتحملـه الألـياف . وتزداد قيم الخواص الميكانيكية مع زيادة نسبة الألياف المضافة .

المصادر (References).

١- علي هوبي حليم " *تحسين خواص المواد اللدائنية المقساة* "، رسالة ماجـستير، جامعـة بابل ، ١٩٩٩ .

٢- د. عبد الفتاح محمود طاهر "*أساسيات علم وتقنية البلمرات* " دار المريخ للنشر ، الرياض ـ المملكة العربية السعودية ، ٢٠٠٠ .

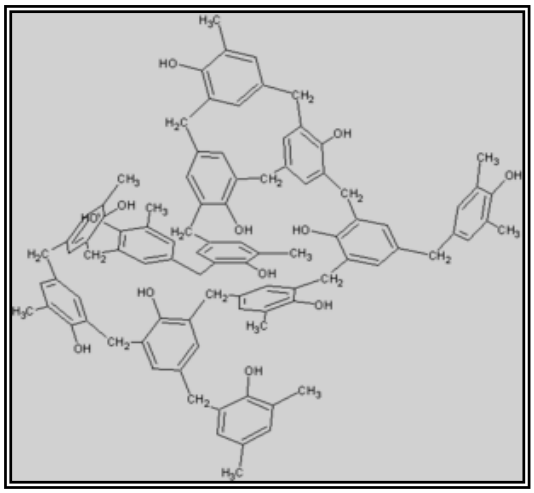
3-***e***funda Engineering Fundamentals "*Polymer Material Properties*" ,2001. (www.efunda.com).

٤- عادل محمد سويلم "*اللدائن ماهيتها ـ أنواعها ـ طرق تصنيعها ـ تشغيلها* " ، الطبعة الأولى ، دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع ، ١٩٩٤ .

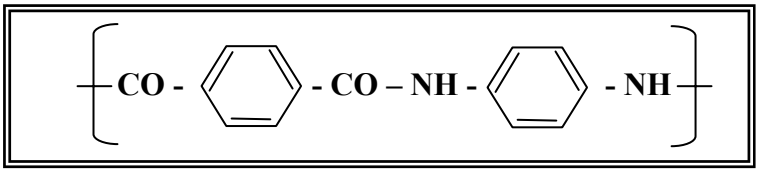
5- George Lubin " *Handbook of Fiberglass and Advanced Plastics composite* ", First Edition , 1975.

6- أمل علي رجب "*دراسة الخواص الميكانيكية لمواد مركبة و مواد مركبـة هجينـة* " ، رسالة ماجستير، هندسة المكائن والمعدات ، الجامعة التكنلوجية ، ١٩٩٥ .

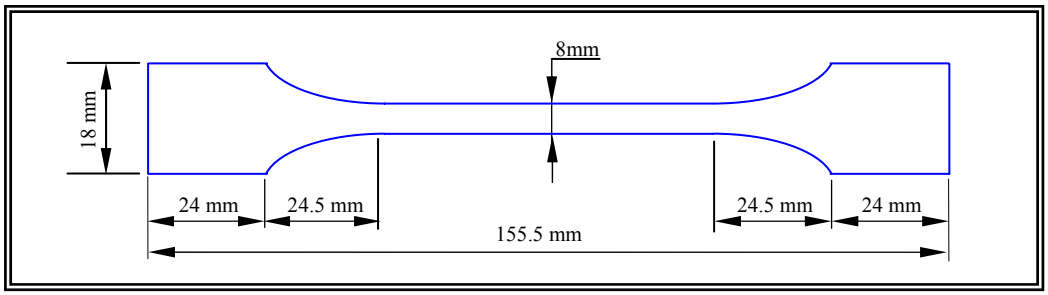
7- N.G.McCrum, C.P.Buckley and C.B.Bucknal "*Principal of Polymer Engineering*" , Second Edition , Oxford University Press , 1997 .



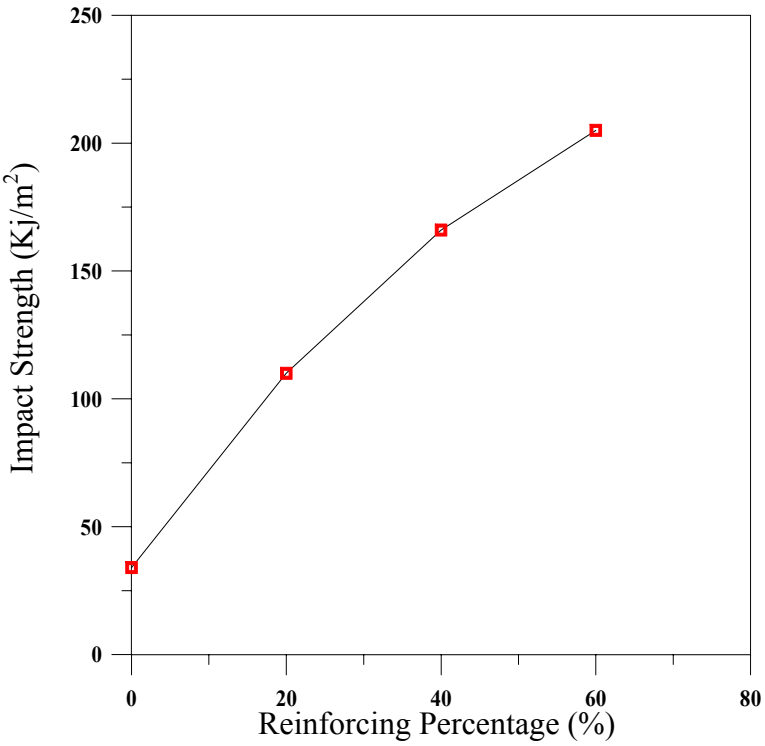
والشكل رقم (١) : التركيب الكيميائي لراتنج الفينول فورمالدهيد [طاهر ٢٠٠٠]



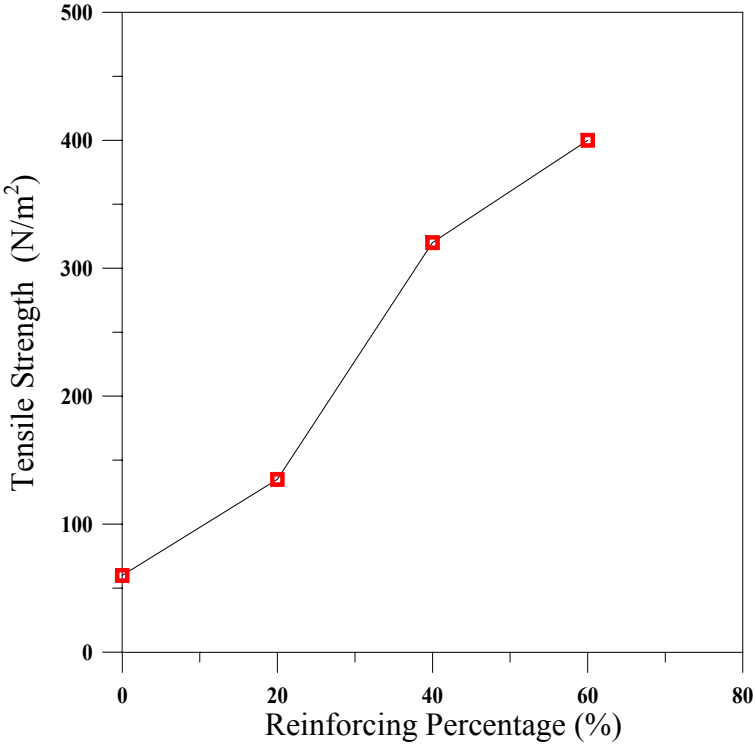
الشكل رقم (٢) : التركيب الكيميائي لألياف كيفلار[Crum1997]



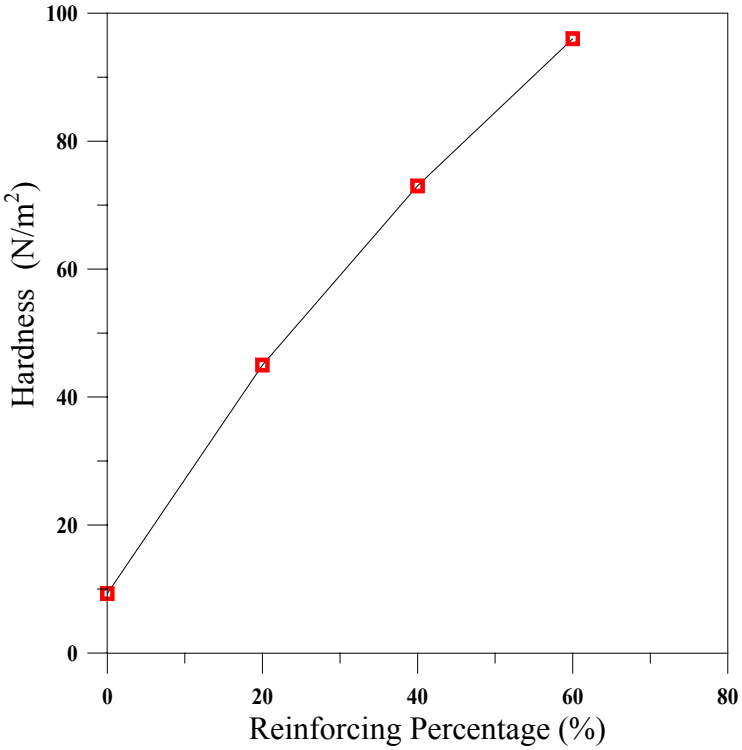
الشكل رقم (٣) : نموذج إختبار مقاومة الشد



الشكل رقم (٤) : إختبار مقاومة الصدمة لراتنج الفينول فورمالدهيد المقوى بألياف كيفلار



الشكل رقم (٥) : إختبار مقاومة الشد لراتنج الفينول فورمالدهيد المقوى بألياف كيفلار



الشكل رقم (٦) : إختبار الصلادة لراتنج الفينول فورمالدهيد المقوى بألياف كيفلار