دراسة تأثير نسبة الماء الممتص على خاصية الكلال للبولي استر المقوى بألياف الكربون المقطعة

عامر مصطفى رشيد

مدرس مساعد

جامعة تكريت/كلية الهندسة/قسم الهندسة الميكانيكية

الخلاصة:

أن الهدف من هذا البحث هو دراسة تأثير امتصاص الماء على خاصية عمر الكلال(Fatigue limit) لمواد مصنعة من راتنج البولي استر وألياف الكربون المقطعة(Chopped). حيث تم تصنيع يدويا ألواح من ألياف الكربون مع راتنج البولي استر بنسب حجميه ٥% و ٨% وتقطيعها إلى عينات بأبعاد وحسب مواصفات جهاز فحص الكلال ووزن هذه العينات وهي جافة وبعد ذلك تم تغطيسها بالماء لفترة من الزمن (١٥ يوم) حيث تم وزن هذه العينات كل(٢٤ ساعة) لمعرفة كمية الماء الممتص بدرجة حرارة الغرفة (٣٢ درجة مئوية) ومن ثم فحصها على جهاز فحص الكلال بنسبة كلال (١-) وهي جافة وبعد التغطيس لمعرفة تأثير الماء على عمر الكلال.

الكلمات الدالة : ألياف الكربون المقطعة،امتصاص،مواد متراكبة،راتنج البولي استر،عمر الكلال،معامل المرونة.

STUDY THE EFFECT OF WATER CONTENTS ON THE FATIGUE BEHAVIOR FOR COMPOSITE MATERIAL MANUFACTURING FROM POLYESTER REINFORCE CARBON FIBER.

Amer Mustafa Rasheed

ASSISTANT LECTURER

University of Tikrit /engineering college /Dep. Mech.

Abstract:

The aim of this research is to study the effect of water absorption on the fatigue property. This is to be done for materials that made from polyester resin reinforce by carbon fibers.This material has been prepared in the laboratory as sheets with two different percentages of fiber carbon contents , These percentages are 5% and 8% . Then a specimens have been prepared in a shape and size that convenient to suit the fatigue test machine . These specimens has been weighted before and after immersed in water for (15) days. The weight of the specimens have been checked every (24) hours in order to know the water absorption at room temperature (32) c^0 .Then a fatigue tests have been carried out for two types of specimens , These specimens are dry and wet specimens .

Key words: Carbon fiber , absorption, composite material, Polyester resin, fatigue

الرموز المستخدمة في البحث

الرمز	المعنى	الوحدة
b	عرض العينة	mm
D	ثابت معامل الانتشار (معامل النفاذية)	---
E	معامل يونك	Mpa
E composite	معامل يونك للمادة المتراكبة	Mpa
Ef	معامل يونك للألياف (fiber)	Mpa
Em	معامل يونك للمادة الأساس (Matrix)	Mpa
f_f	نسبة الكسر ألحجمي	%
L	طول العينة	mm
M	نسبة امتصاص الماء بالنسبة للوزن	%
n	عدد الدورات	Rad
P	الحمل	N
t	سمك العينة	mm
V_f	الكسر ألحجمي لألياف الزجاج	mm^3
(W_{drg})	الوزن الجاف للعينات	g

(W_{wet})	الوزن الرطب للعينات	g
dc/dx	التغير في التركيز لوحدة الزمن	mol/h
ϵ_L	الانفعال الاسمي لليف	---
ϵm	الانفعال الاسمي للمتراكب	---
δ	الانحراف	mm
σm	أجهاد المادة الأساس	Mpa
σf	أجهاد الألياف	Mpa

المقدمة:

شهد العصر الحديث استخداماً واسعاً للمواد المتراكبة(Polymers material) في معظم التطبيقات وإحلالها محل المعادن،حيث إن حوالي ٣٠% من المنتجات البوليميرية تستخدم اليوم في تطبيقات الهندسة المدنية والصناعات الإنشائية ، كونها تتصف بمواصفات خاصة منها خفة الوزن ومقاومة التآكل وسهولة التصنيع إضافة إلى تميزها ببعض الخواص الميكانيكية الأخرى.ولكون المواد المتراكبة تعمل في ظروف بيئية متعددة وتتعرض إلى اجهادات مختلفة ، ينبغي دراسة هذه الاجهادات والوصول إلى نتائج متقدمة للحصول على التصميم المناسب للمتراكبات ومن هذه الاجهادات ،الاجهادات المتغيرة مع الزمن اجهادات الكلال (Fatigue stress) .

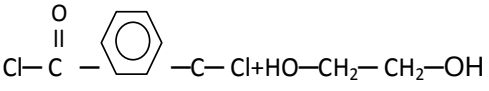
الراتنجات Resins

الراتنجات مواد بوليمرية معقدة تدخل بشكل كبير ضمن المواد الأولية لصناعة اللدائن وكذلك تعد من المواد الأساسية في تشكيل المتراكبات ،حيث إن السلاسل المكونة للراتنجات تكون بشكل بلوري عند تصلبها الأمر الذي يجعلها تمتلك معامل مرونة و وزن نوعي واطئين وتصنف الراتنجات إلى

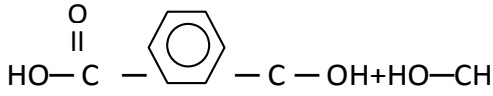
١. راتنجات مطوعة للحرارة Thermoplastics
٢. راتنجات مقاومة للحرارة Thermo set

راتنج البولي استر Polyester Resins

وهو من الراتنجات المقاومة للحرارة (THERMOSET) وان أسهل طريقة لتحضير مركبات البولي استر هي تفاعل كلوريد التريفثاويل والاثلين كلايكول .كما في المعادلة رقم(١) .لكن كلوريد التريفثاويل مادة غالية لذا يستعاض عن هذا التفاعل بتفاعل حامض التريفثاليك والاثلين كلايكول كما في المعادلة(٢)



أثيلين كليكول + كلوريد تريفثاويل .....(١)



أثيلين كلايكول+ حامض التريفثاليك .....(2)

ألياف الكربون Carbon Fiber

أو ما تسمى ألياف الكرافايت أو كربون الكرافايت. مواد تحتوي على ألياف رقيقة جدا (٠.٠٠١-٠.٠٠٠٥) ملم والمركبة في الغالب من ذرات الكربون ، أي حوالي ٩٠% كربون . وتكون ذرات الكربون مرتبطة سوية مع بعضها في البلورات المجهرية والتي رُتبت بشكل متوازي مع المحور الطولي لليف مما يجعل أليف قوي جدا، إن أهم خصائص ألياف الكربون هي المقاومة العالية للشد وخفة الوزن وذات معامل تمدد حراري قليل. إن من طرق استخلاص ألياف الكربون طريقة (CARBON FIBER FRM RAYON) ، ويمكن اختصار مراحل الإنتاج بثلاث مراحل هي:

١- STABILIZATION أو إزالة الغازات المذابة .

٢- CARBONIZATION أو ما يسمى (التفحيم).

3- GRAPHITIZATION .

عمل الألياف في المواد المتراكبة

تصنع المواد المتراكبة وذلك للحصول على مادة ذات خصائص تجمع بين خصائص المواد المكونة لها، وعادة ما تكون المواد المتراكبة متكونة من مادتين هما الألياف والمادة الرابطة . إن الألياف غالبا ما تكون من الزجاج أو الكفلر أو الكربون ، والمادة الرابطة تكون عادة غير مطاوعة للحرارة مثل راتنج الأيبوكسي أو البولي استر. يعمل الليف في المادة الرابطة لكي يجعل المادة الرابطة أكثر قوة . أن المواد المتراكبة يمكن إن يكون لها

معاملات مرونة أكثر بكثير من موادها الأساسية . فإذا أجهدنا (stress) المادة المتراكبة ذات الجزء ألحجمي (Vf) من الألياف بموازاة الألياف. فمن الطبيعي الافتراض بأن معامل الإجهاد ومعامل المرونة للمتراكب هو:

$$\sigma = V_f\sigma_f + (1 - V_f)\sigma_m \qquad \ldots(3)$$

$$\sigma = E_f V_f \in_m + E_m(1 - V_f) \in_m \qquad \ldots(4)$$

و بما أن:

$$E_{\text{COMPOSITE}} = \frac{\sigma}{\in_m} \qquad \ldots(5)$$

إذن:

$$E_{\text{COMPOSITE}} = V_f E_f + (1 - V_f) E_m \qquad \ldots(6)$$

الفشل في المواد المتراكبة

يتبين من **الشكل رقم (١)** بأن الفشل في المواد البوليمرية (matrix or fiber) يحدث عند وصول حد الخضوع ويمكن حساب الإجهاد في المتراكبات (composites) كما يلي[Mustafa 1997]:

$$\sigma = \sigma_f f_f + \sigma_m(1 - f_f) \qquad \ldots(7)$$

عملية امتصاص المواد المتراكبة للمحاليل

تعتمد عملية امتصاص المواد المتراكبة للمحاليل عند تعرضها لهذه المحاليل بصورة مباشرة أو غير مباشرة على نفاذية معظم جزيئات المحلول إلى المادة الأساس وهذا يعني إن كمية المحلول الممتصة تزداد بشكل خطي و تتناسب مع الجذر ألتربيعي للوقت (وقت تعرضها أو تغطيسها) وبشكل تدريجي وتبقى حتى وصول حالة التوازن أو الإشباع Anthony and David Sims 2004 . حيث تعتمد كمية الماء الممتص أو أي محلول أخر على الطبيعة الكيماوية (التركيب الكيماوي) للمادة الأساس (matrix) [Broughton and Lodeiro .2000]

تأثير الماء على المواد المتراكبة البوليمرية

تمتاز المواد البوليمرية بقابليتها على امتصاص الماء والمحاليل ، ولذلك تظهر صعوبات أحيانا عند استخدامها كحاويات لحفظ تلك المحاليل . لذلك تقل متانة المواد البوليمرية بسبب تعرضها المباشر للماء أو الرطوبة النسبية العالية في الهواء ، وحيث إن عملية الامتصاص تعتمد بصورة مباشرة على نوع الراتنج و طبيعة المحلول المستخدم ، ونظرا لكون الجزيئات في الحالة السائلة تكون في حالة حركة مستمرة وهذا يؤدي بدوره إلى ظاهرة الانتقال أو الانتشار الجزئي وهذا ما عبر عنه العالم (فك) بقانونيه الأول والثاني لبيان عملية الامتصاص . إذا افترضنا إن الحركة للجسيمات تكون بالاتجاه(X) فأن كثافة تيار الجسيمات بهذا الاتجاه (X) يعبر عنه(Fx) وهذا بدوره يتناسب مع تغير التركيز بنفس الاتجاه(dc/dx) لوحدة الطول أي إن القانون الأول هو:

$$Fx = -D\frac{dc}{dx} \qquad \ldots (8)$$

ومما تقدم يمكن إن نبسط قانون فك بما يلي:

$$M = \frac{W_{wet} - W_{drg}}{W_{drg}} \qquad \ldots (9)$$

إن **الشكل رقم (2)** يبين النتائج العملية لتطبيق قانون فك.

الجانب العملي

المواد المستخدمة

تم استخدام مادة البولستر لغرض تصنيع العينات كمادة أساس مع إضافة مادة مصلدة إليه لغرض التصلب وتم استخدام ألياف الكربون المقطعة (Chopped) **الشكل رقم (٣)** لتقوية المادة الأساس للحصول على المادة المتراكبة المعدة للفحص و **الجدول رقم (١)** يبين المواصفات الميكانيكية لألياف الكربون المقطع .

تصنيع العينات وتقطيعها

تم استخدام طريقة التشكيل اليدوي في تصنيع العينات وذلك لسهولة الاستخدام والبساطة وقلة التكاليف . حيث تم تصنيع عدد من الطبقات وبقياسات (٢٠X٢٠ سم) من ألياف الكربون المقطع مع راتنج البولي استر وكما مبين في **الشكل(5)**. تم تقطيع الألواح إلى العينات بقياس (٦٠ ملم طول و ١٠ملم عرض والسمك حسب الكسر ألحجمي للعينة) وبعد الحصول على العينات القياسية المطلوبة وحسب مواصفات جهاز فحص الكلال تم عمل ثقب واحد في كل عينة وبقطر (٤)ملم من احد أطرافها . و يبين **الشكل(٥)** العينات بعد التقطيع .

تعريض العينات للماء

بعد تقطيع العينات أخذت مجموعة منها ووزنت بواسطة ميزان حساس لمعرفة وزنها قبل غمرها بالماء و بعد ذلك وضعت في أناء فيه ماء بدرجة حرارة المختبر . تم أجراء عملية وزن العينات أثناء عملية امتصاص الماء كل (٢٤)ساعة ولمدة شهر واحد.**والجدول رقم (٢ و ٥)** يبين كمية الماء التي تم امتصاصها من قبل العينات لفترة (١٥ يوم).

جهاز اختبار الكلال

تم استخدام جهاز الاختبار من نوع الانحناء المتناوب لماكينة الكلال (Alternating bending fatigue machine) إن الغرض من هذا الجهاز هو تطبيق ثني متذبذب (متناوب) على قطعة العينة المثبتة من طرف واحد لتحديد أداء الكلال **والشكل (٦)** صورة للجهاز المستخدم .

لقد تم تسليط إجهاد ثني معروف على العينة المثبتة من طرف واحد وذلك بتسليط حمل مقداره (P) والذي تسبب بانحراف مقداره (δmm) كما موضح في **الشكل (٧)** ، ومن ثم حساب كل من الإجهاد المسلط على العينة (σ) وطول العينة (ℓ) بعد الانحراف (δmm) ومعامل بونك للعينة (E) بأتباع الخطوات التالية وحسب تعليمات استخدام جهاز الفحص:

$$\ell = L - h = L - \frac{A^2}{L} \qquad \ldots(10)$$

A=0.785δ (constant)

$$\sigma = \frac{6p\ell}{bt^2} \qquad \ldots(11)$$

$$E = \frac{\ell^2\sigma}{1.5t\delta} \qquad \ldots(12)$$

النتائج:

١- وزنت العينات بنسبة كسر حجمي ٥% قبل وبعد التغطيس بالماء وكانت النتائج كما في **الجدول رقم(٢)** وتم رسم علاقة بين كمية امتصاص الماء والزمن **الشكل رقم (٨)**.

٢- تركيب العينات على جهاز فحص الكلال وهي جافة بنسبة كسر حجمي ٥% وكانت النتائج كما في **الجدول رقم (٣)** ،وتم رسم علاقة عدد الدورات مع الإجهاد لحد الفشل ومعامل المرونة كما في الشكل **رقم (٩) و(١٠)**.

٣- تركيب العينات بنسبة كسر حجمي ٥% بعد التغطيس على جهاز فحص الكلال وكانت النتائج كما مبينة في **الجدول (٤)** وتم رسم علاقة عدد الدورات مع الإجهاد لحد الفشل ومعامل المرونة كما في **الشكل(١١) و (١٢)** .

٤- وزن العينات بنسبة كسر حجمي ٨% قبل وبعد التغطيس بالماء وكانت النتائج كما في **الجدول رقم(٥)** وتم رسم علاقة بين كمية امتصاص الماء والزمن **الشكل رقم (١٣)**.

٥- تركيب العينات على جهاز فحص الكلال وهي جافة بنسبة كسر حجمي ٨% وكانت النتائج كما في **الجدول رقم (٦)** ، وتم رسم علاقة عدد الدورات مع الإجهاد لحد الفشل ومعامل المرونة كما في **الشكل رقم (١٤) و(١٥)**.

٦- تركيب العينات بعد التغطيس على جهاز فحص الكلال وكانت النتائج كما مبينة في **الجدول (٧)** وتم رسم علاقة عدد الدورات مع الإجهاد لحد الفشل ومعامل المرونة كما في **الشكل رقم (١٦) و(١٧)**.

المناقشة:

١- إن متانة العينات تقل بزيادة نسبة الكسر ألحجمي أي إن عدد الدورات لحد الفشل تقل بزيادة نسبة الكسر ألحجمي فعلى سبيل المثال إن العينات التي صنعت بنسب كسر حجمي ٥ % وبحمل ٣ نيوتن فشلت بعدد دورات (٤٩٢٤ دورة) بينما العينات التي صنعت بنسبة كسر حجمي ٨ % فشلت بعدد دورات (٣٣٠٧) لنفس الحمل.

٢- إن مرونة العينات تقل بزيادة نسبة الكسر ألحجمي فالعينات التي تعرضت لحمل (٤ نيوتن) بنسبة كسر حجمي ٥ % تعطي انحراف مقداره (٤ ملم) بينما الأخرى تعطي انحراف مقداره (٢.٥ ملم) لنفس الحمل.

٣- إن كمية امتصاص الماء تقل بزيادة نسبة الكسر ألحجمي .

٤- إن متانة العينات تقل بعد تعرضها للماء كما تقل عدد دورات الفحص لحد الفشل بشكل ملحوظ لذلك فعند تسليط حمل بقيمة (٥ نيوتن) لعينة بكسر حجمي ٥% نلاحظ فشل العينة (٣٤٠) دورة وهي جافة (ولنفس الحمل ونسبة الكسر ألحجمي) نلاحظ فشل العينة بعدد دورات (٢١٨) دورة بعد تغطيسها بالماء.

٥- إن مرونة العينات تزداد بعد تغطيسها بالماء لكلا الحالتين من ناحية نسبة التسليح لذلك نلاحظ أن العينة رقم (٤)المتعرضة لحمل (٤ نيوتن) تعطي انحراف مقداره (٤ ملم) قبل التغطيس والعينة رقم (٨) تعطي انحراف مقداره (٤.٥ ملم) لنفس الحمل بعد تغطيسها بالماء.

٦- إن نسبة امتصاص الماء تزداد مع الزمن لكلا الحالتين لحين وصول العينات إلى حد الإشباع أو الاتزان.

٧- لقد أظهرت الصور المجهرية **الشكل** (١٨) والمأخوذة للعينة(٥) قبل الفحص عدم وجود الشقوق في سطح العينة. لكن عند مقارنتها مع **الشكل** (١٩) لنفس العينة بعد الفحص فانه يتضح أن هناك تشققات موجودة في سطح العينة بعد تشغيلها عدد من الدورات مقداره (٣٤٠) دورة ولم تفشل العينة إلى جزأين. أما العينة (١٥) وكما موضح في **الشكل**(٢٠) فأنها توضح شكل للشقوق السطحية وانفصالها الجزئيين بعد تشغيلها عدد من الدورات مقداره (١٠٢) دورة وسلط عليها حمل مقداره (٨N) والذي أدى إلى انحراف مقداره (٦) ملم مما تقدم نستنتج أن حد الكلال(Fatigue limit) يقل بزيادة الكسر ألحجمي وبعبارة أخرى أن عدد دورات الكلال يقل بزيادة سمك العينة علما ان قوة تكبير المجهر كانت X10 لكل العينات.

المصادر:

1. Charles A. Harper, "Modern plastics handbook", McGraw-Hill, New York, 2000.
2. S. S. Mustafa, "Weathering effect on mechanical, optical and surface properties of unsaturated polyester and epoxy resin matrix composites", university of Baghdad- College of science, 1997.
3. Anthony and David Sims, "weathering of polymers ", Applied science publishers London and New York, 2004.
4. W R Broughton and M J Lodeiro, "Techniques for monitoring water absorption in fiber-reinforced polymer composites" , http://www.materials@npl.co.uk, December 2000.
5. B.M "reinforced and study of epoxy and polyester resins properties" Technology university department of materials, 1996.

الجدول رقم (١) يبين المواصفات الميكانيكية لألياف الكربون المقطع

Grade	**300 HS**
Weight (g/m^2)	**300**

Design thickness (mm)	**0.167**
Tensile strength (kgf/cm^2)	**590**
Tensile strength design (kgf/cm^2)	**35.500**
Tensile modulus design (kgf/cm^2)	**2.35×10^6**
Fiber length (mm)	**19**
Carbon content (%)	**98 wt**
Specific gravity (gm/cm^3)	**1.9**
Elongation at break (%)	**1.4**

جدول رقم(٢) يبين كمية الماء الممتصة للعينة رقم(١٠) المصنعة من ألياف الكربون المقطعة مع راتنج البولي استر لكسر حجمي ٥% بعد مرور(١٥ يوم)

كمية الماء الممتصة (غم)	الوزن بعد التغطيس (غم)	الوزن قبل التغطيس (غم)	(عدد ساعات الفحص)$^{0.5}$
0	0	1.88	٠
0.022	1.902	1.88	٤.٩٩
٠.٠٢٩	١.٩٠٩	1.88	٦.٩
٠.٠٢٧٣	١.٩٠٧٣	1.88	٨.٤٩
٠.٠٢٩	١.٩٠٩	1.88	٩.٨٠
0.03	١.٩١	1.88	١٠.٩٥
0.0303	١.٩١٠٣	1.88	١٢
0.03002	١.٩١٠٠٢	1.88	١٢.٩٦
0.0301	١.٩١٠١	1.88	١٣.٨٦
0.0302	١.٩١٠٢	1.88	١٤.٧
0.0302	١.٩١٠٢	1.88	١٥.٤٩
0.0301	١.٩١٠٢	1.88	١٦.٩٧

جدول رقم (٣) يبين تغير عمر الكلل و معامل المرونة مع عدد الدورات لعينات جافة من البولي استر مقوات بألياف الكربون بكسر حجمي ٥% .

العينات	سمك العينة (t) mm	الحمل (p) (N)	الانحراف (δ) (mm)	عدد الدورات (N) (Rad)	الإجهاد(σ) Mpa	معامل المرونة(E) Mpa
١	١.٨	١	١.٨	٥١٠١٤	٧.٤	٦٠.٨٤
٢	١.٨	٢	٢.١	٢٨٤٠٠	١٤.٨	١٠٤.٣
٣	١.٨	٣	٢.٥	٤٩٢٤	٢٢.٢	١٣١.٤
٤	١.٨	٤	٤	٩٥٠	٢٢.٦	١٠٩.٥

٥	١.٨	٥	٥	٣٤٠	٣٧	١١١.٢٩

جدول رقم (٤) يبين تغير عمر الكلل و معامل المرونة مع عدد الدورات لعينات بعد تغطيسها بالماء من البولي استر مقوات بألياف الكربون بكسر حجمي ٥% .

العينات	سمك العينة (t) mm	الحمل (p) (N)	الانحراف(δ) (mm)	عدد الدورات(N) (Rad)	الإجهاد(σ) Mpa	معامل المرونة (E) Mpa
٦	١.٨	٢	٢.٥	٦١٤١٢	١٤.٨	٨٧.٦
٧	١.٨	٣	٣	٣٨١٢	٢٢.٢	١٠٩.٥٢
٨	١.٨	٤	٤.٥	٨١٥	٢٩.٧	٩٧.٦٨
٩	١.٨	٥	٥.٥	٢١٨	٣٧	٩٩.٦
١٠	١.٨	٥.٥	٦	١٤٨	٤٠.٧	١٠٠.٤

جدول رقم(٥) يبين كمية الماء الممتصة للعينة رقم(٢٠) المصنعة من ألياف الكربون المقطعة مع رانتج البولي استر لكسر حجمي ٨% بعد مرور (١٥ يوم)

كمية الماء الممتصة (غم)	الوزن بعد التغطيس (غم)	الوزن قبل التغطيس (غم)	(عدد ساعات الفحص)$^{0.5}$
0	0	٢.٧٩	٠
٠.٠١٨	٢.٨٠٨	٢.٧٩	٤.٩٩
٠.٠١٩٤	٢.٨٠٩٤	٢.٧٩	٦.٩
٠.٠١٩٧	٢.٨٠٩٧	٢.٧٩	٨.٤٩
٠.٠١٩٩	٢.٨٠٩٩	٢.٧٩	٩.٨٠
0.0204	٢.٨١٠٤	٢.٧٩	١٠.٩٥
0.0216	٢.٨١١٦	٢.٧٩	١٢
0.0218	٢.٨١١٨	٢.٧٩	١٢.٩٦
0.0223	٢.٨١٢٣	٢.٧٩	١٣.٨٦
0.024	٢.٨١٤	٢.٧٩	١٤.٧
0.0243	٢.٨١٤٣	٢.٧٩	١٥.٤٩
٠.٠٢٤٣	٢.٨١٤٣	٢.٧٩	١٦.٩٧

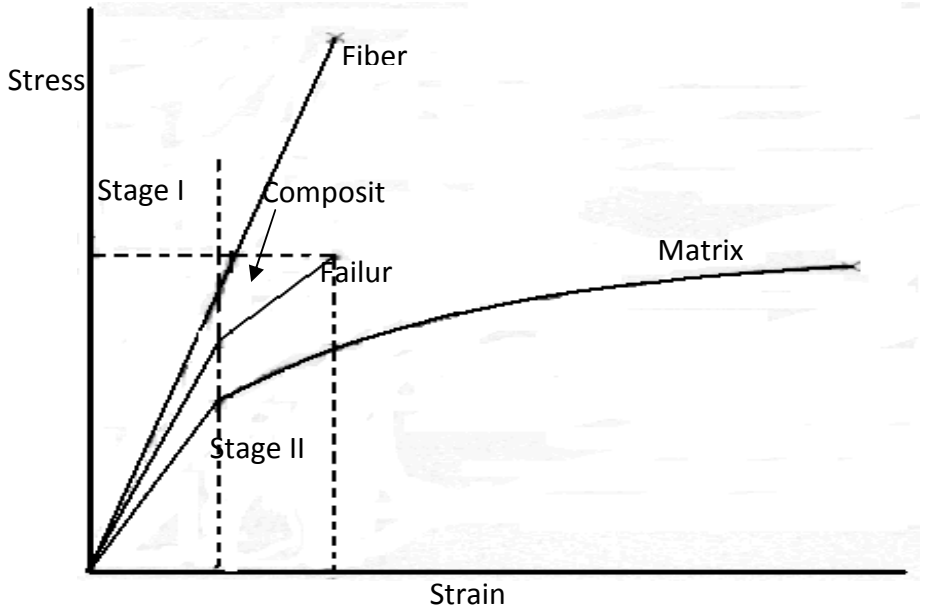
جدول رقم (٦) يبين تغير عمر الكلل و معامل المرونة مع عدد الدورات لعينات جافة من البولي استر مقوات بألياف الكربون بكسر حجمي ٨% .

العينات	سمك العينة (t) (mm)	الحمل (p) (N)	الانحراف(δ) (mm)	عدد ا لدورات(N) (Rad)	الإجهاد(σ) Mpa	معامل المرونة (E) Mpa
١١	٢	٢	١.٨	١٧٣٠٠	١٢	٨٨.٧
١٢	٢	٣	٢	٣٣٠٧	١٨	١١٩.٧
١٣	٢	٤	٢.٥	٣٢٢	٢٤	١٢٧.٧

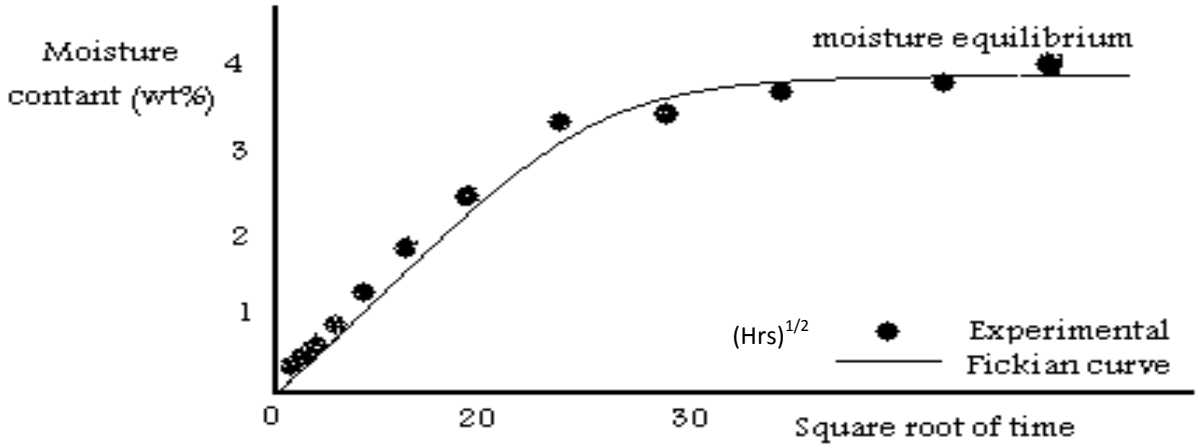
١٤	٢	٥	٣	٢٢١	٣٠	١٣٣
١٥	٢	٨	٦	١٠٢	٤٨	١٠٦.٤

جدول رقم (٧) يبين تغير الإجهاد و معامل المرونة مع عدد الدورات لعينات بعد تغطيسها بالماء من البولي استر مقوات بألياف الكربون بكسر حجمي ٨% .

العينات	سمك العينة (t) (mm)	الحمل (p) (N)	الانحراف(δ) (mm)	عدد ا لدورات(N) (Rad)	الإجهاد(σ) Mpa	معامل المرونة (E) Mpa
١٦	٢	٢	٢	١٩٢٠٠	١٢	٧٩.٨
١٧	٢	٣	٣	٣٥٢٦	١٨	٧٩.٨
١٨	٢	٥	٦	٢٨٠	٣٠	٦٦.٥
١٩	٢	٦	٧.٥	١٨٧	٣٦	٦٣.٨
٢٠	٢	٨	١٠	٧٥	٤٨	٦٣.٨



الشكل (١) سلوك الفشل تحت تأثير الشد لمادة مركبة مقوات بالأليف



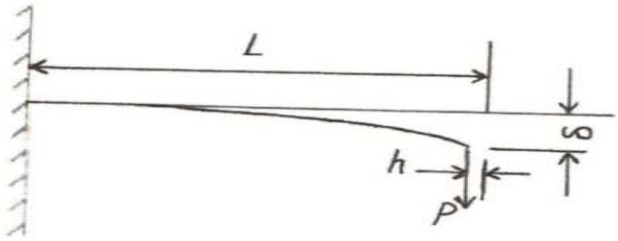
الشكل رقم(2) يبين امتصاص البوليمارات للماء حسب قانون فك

الشكل رقم (٣) يبين ألياف الكربون المقطع

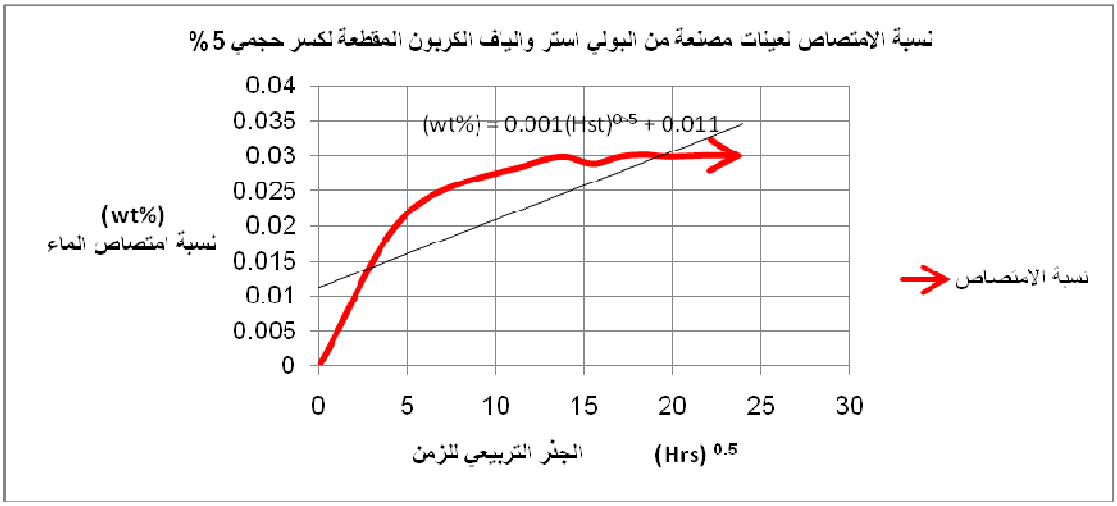
الشكل رقم (٤) العينات قبل التقطيع

الشكل رقم (٥) العينات بعد التقطيع

الشكل رقم (٦) صورة للجهاز المستخدم



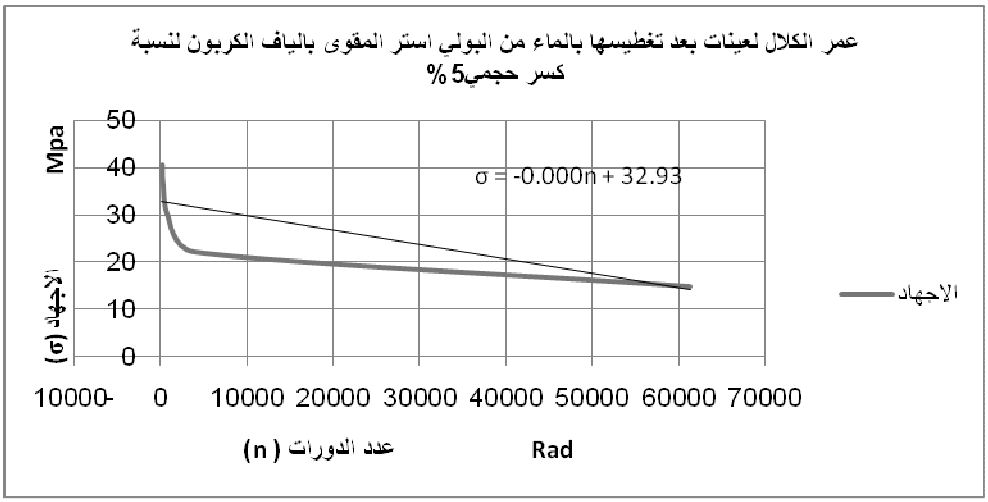
الشكل رقم (٧) صورة توضيحية لانحناء العينة [8]



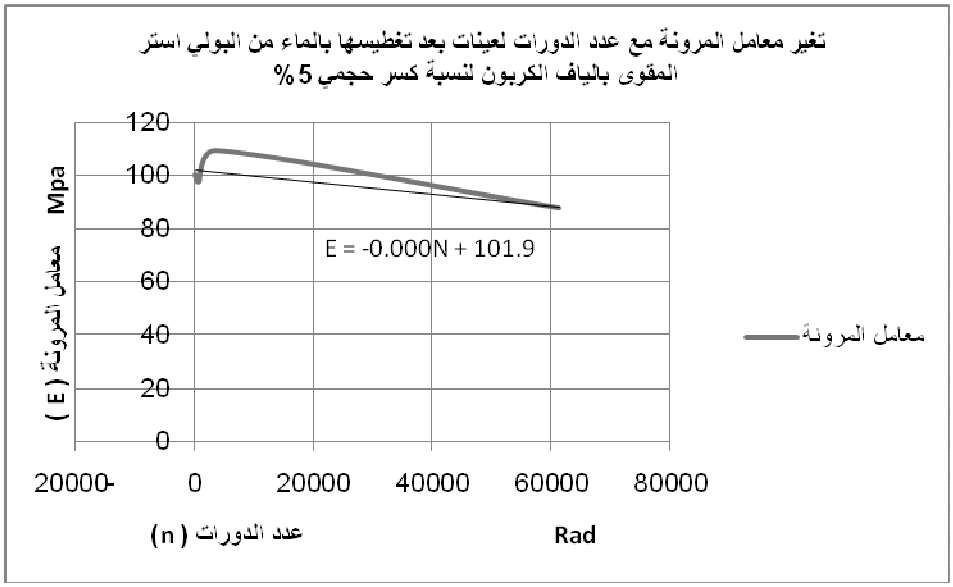
الشكل رقم (٨) يبين نسبة الامتصاص لعينات مصنعة من البولي استر وألياف الكربون المقطعة لكسر حجمي ٥%

الشكل رقم (٩) يبين عمر الكلال لعينات جافة مصنعة من البولي استر المقوى بألياف الكربون لنسبة كسر حجمي ٥%

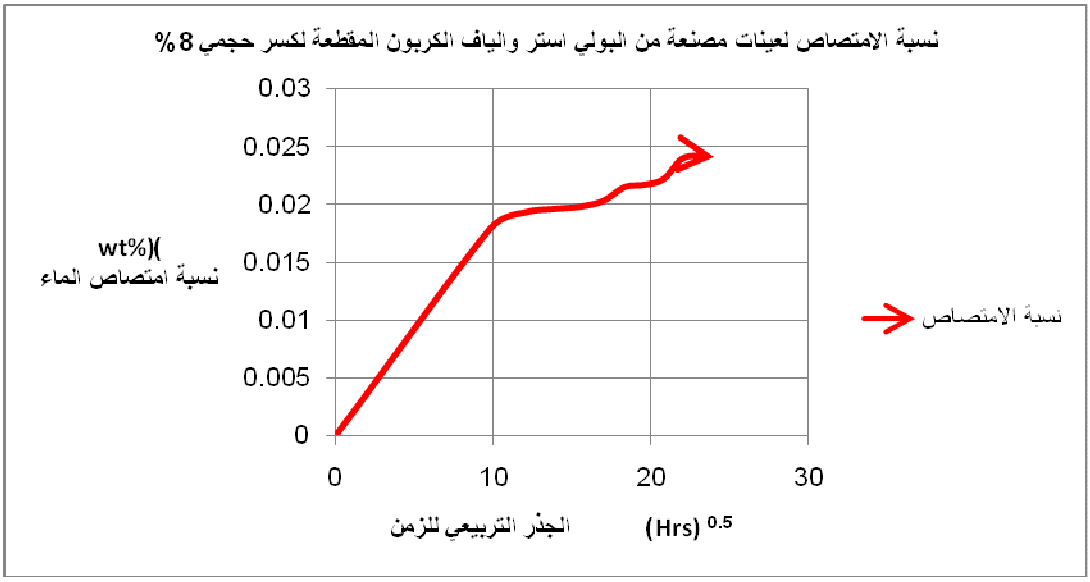
الشكل رقم (١٠) يبين تغير معامل المرونة مع عدد الدوران لعينات جافة من البولي استر مقوات بألياف الكربون لنسبة كسر حجمي ٥%



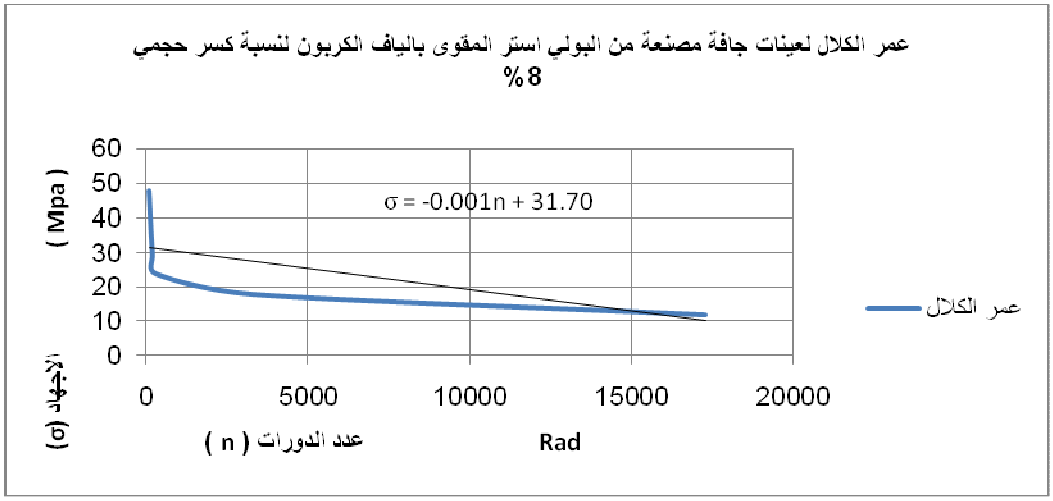
الشكل رقم (١١) يبين عمر الكلال لعينات بعد تغطيسها بالماء مصنعة من البولي استر المقوى بألياف الكربون لنسبة كسر حجمي ٥%



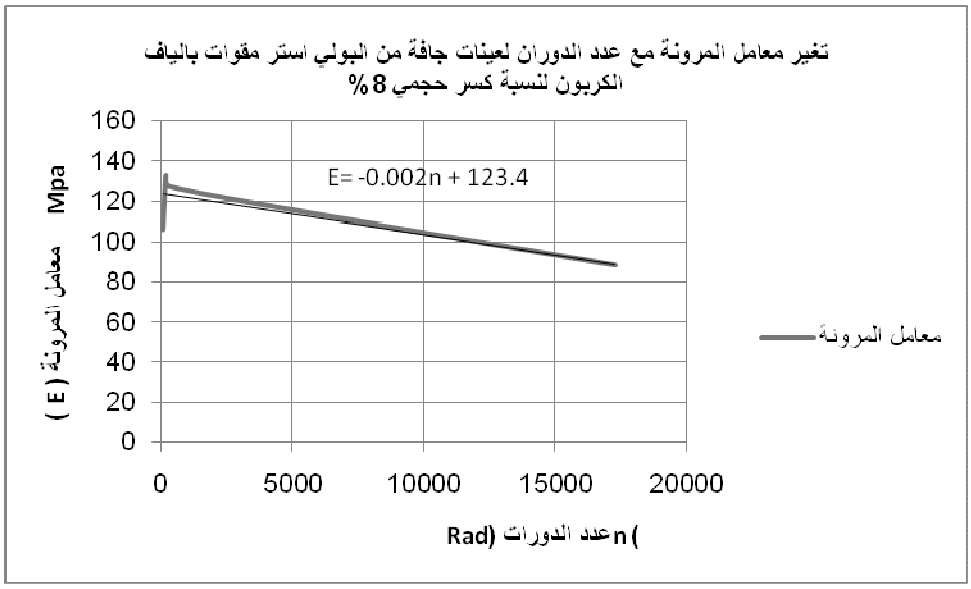
الشكل رقم (١٢) يبين تغير معامل المرونة مع عدد الدورات لعينات بعد تغطيسها بالماء من البولي استر المقوى بألياف الكربون لنسبة كسر حجمي٥%



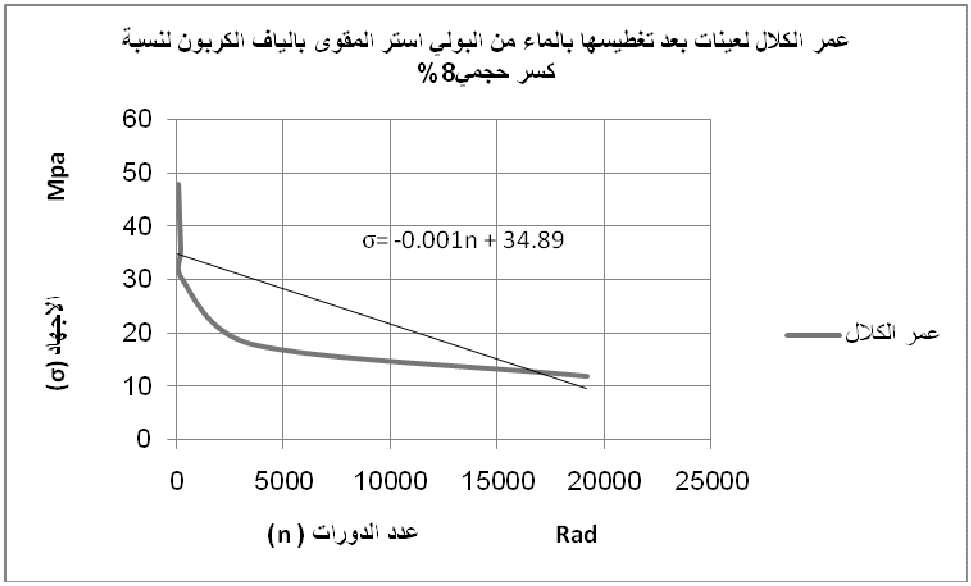
الشكل رقم (١٣) يبين نسبة الامتصاص لعينات مصنعة من البولي استر وألياف الكربون المقطعة لكسر حجمي ٨%



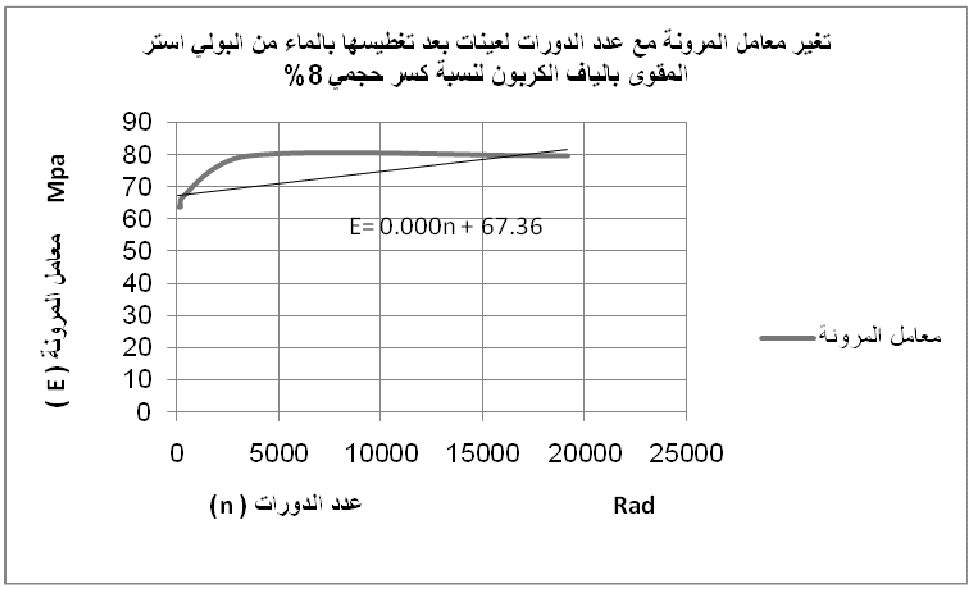
الشكل رقم (١٤) يبين عمر الكلال لعينات جافة مصنعة من البولي استر المقوى بألياف الكربون لنسبة كسر حجمي ٨%



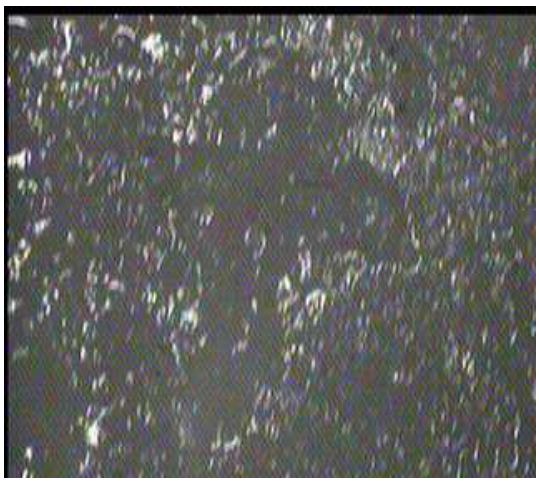
الشكل رقم (١٥) يبين تغير معامل المرونة مع عدد الدوران لعينات جافة من البولي استر مقوات بألياف الكربون لنسبة كسر حجمي ٨%



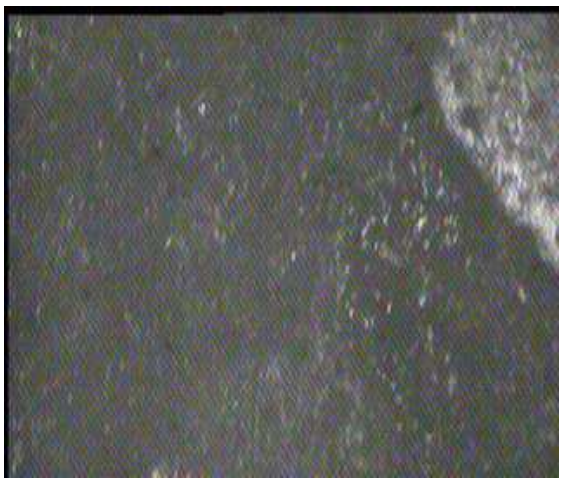
الشكل رقم(١٦) يبين عمر الكلال لعينات بعد تغطيسها بالماء مصنعة من البولي استر المقوى بألياف الكربون لنسبة كسر حجمي ٨%



الشكل رقم (١٧) يبين تغير معامل المرونة مع عدد الدورات لعينات بعد تغطيسها بالماء من البولي استر المقوى بألياف الكربون لنسبة كسر حجمي

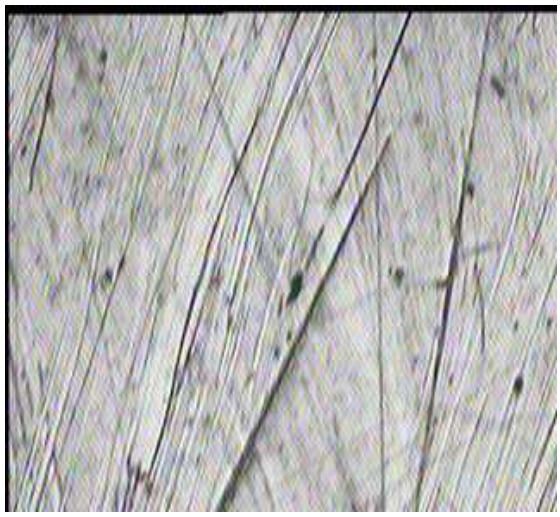


الشكل رقم (١٨)) صورة مجهريه للعينة رقم(٥) قبل الفحص (قوة التكبير X10)



الشكل رقم (١٩) صورة مجهريه للعينة رقم(٥) بعد الفحص(قوة التكبير X10)

الشكل رقم (٢٠) صورة مجهريه للعينة رقم (١٥) قبل الفحص (قوة التكبير X10)



الشكل رقم (٢١) صورة مجهريه للعينة رقم (١٥) بعد الفحص (قوة التكبير X10)