دراسة تأثير السمك وعدد دورات الانهيار على متانة العزل الكهربائي
لمتراكب (بوليستر – نانوسيرامك)

أ.م.د.تحسين حسين مبارك	أ.م.د.شهاب احمد زيدان	عمر احمد حسين
tahseen_phy@yahoo.com	sheahabaljboori@yshoo.com	omarah10@yahoo.com
جامعة ديالى/كلية العلوم	الجامعة التكنولوجية/العلوم التطبيقية	جامعة ديالى/كلية العلوم

الخلاصة

يتضمن هذا البحث دراسة بعض العوامل المؤثرة في متانة العزل الكهربائي.لمادة البولي استر غير المشبع، والمدعمة بالالومينا بنسبة وزنية (4 %) وحضرت النماذج بطريقة الصب البارد وبأسماك تتراوح من(1.5) ملم إلى (4)ملم.أظهرت نتائج الفحوصات تناقص متانة العزل الكهربائي مع زيادة السمك ويكون واضحاً في الأسماك الكبيرة .أما تأثير عدد الدورات على متانة العزل الكهربائي للمتراكب. نلاحظ انخفاضاً حاداً في متانة العزل الكهربائي لجميع الأسماك المختلفة .والصور المأخوذة لمنطقة الانهيار باستعمال المجهر الضوئي فقد بينت تفحم الأنموذج في منطقة الانهيار الكهربائي.

الكلمات المفتاحية: متانة العزل الكهربائي ، طريقة الصب البارد

دراسة تأثير السمك وعدد دورات الانهيار على متانة العزل الكهربائي
لمتراكب (بوليستر – نانوسيرامك)

أ.م.د.تحسين حسين مبارك أ.م.د.شهاب احمد زيدان عمر احمد حسين

Study effect of the thickness and the periodic loading on the dielectric strength for (polyester – Nanoceramic)

Abstract

This paper includes some factors that effect on the dielectric strength of unsaturated polyester resin which supported by alumina by weight fracture (4%). the samples prepared by casting cold method with thickness about (1.5)mm to (4)mm .the results shows that the dielectric strength decreased when the thickness increased and that is more clear at high thicknesses. but the effect of periodic loading on the dielectric strength of the composite. We notice sharp decrease in the dielectric strength of the composite for all different thicknesses. the microscope pictures of the break down area that taken by optical microscope shows the coaling of the breakdown area of the samples .

المقدمة

متراكبات (بوليمير -نانوسيراميك):

البوليمرات المصلدة حراريا مثل البولي استر والايبوكسي تبدي خصائص عديدة تساعد بقوة في ربط السلاسل البوليميريه المتشابكة (cross-link) و من خواصها النوعية امتلاكها لتحولات في درجات التزجج العالية وكذلك معامل يونك عالي ومقاومه للزحف عاليه ومقاومه جيده للذوبان . لسوء الحظ فان هذا الربط العالي للسلاسل البوليميريه يجعلها هشة بالأصل مع ضعف في المقاومة و هذا ما يسبب تكون الشق (crack) وانتشاره بالمقارنة مع البلاستيك الهندسي لذا فان التدعيم يحسن متانة الكسر للبوليمرات المصلدة حراريا من حيث زيادة متانة المتراكب. حديثا تم الاثبات بان أضافه الجسيمات ذات الحجم النانوي لها أهميه كبيره في تحسين الخواص الفيزياويه لهذه البوليميرات وعلى وجه التحديد لوحظ إن متانة الكسر للبوليميرات المقاومة للحرارة كمتراكبات ترتبط بصوره مباشره بمواد التدعيم النانويه مما ينتج زيادة عظمى في صلادة الكسر . هذه الخاصية تتناقض بحده مع التدعيم التقليدي (المايكروي) للبوليميرات المصلدة بالحرارة [1].

وبصورة عامة فأن إنتاج الجسيمات النانوية والسيطرة على الحجم الحبيبي ودرجة التكتل هو الهدف من جهود بحثية عديدة .والدافع الأساسي لهذا الاهتمام هو تأثير حجم الجسيمات على خصائص المتراكب الناتج .واحد اهم مزايا استخدام الجسيمات النانوية هو ان يكون حجم الجسيمات النانوية وتوزيعها مستقرا .فالمواد بصورة عامة لا يمكن ان تنموا بسهولة

الى مواد احادية التبلور الا بواسطة المواد النانومترية الحجم، والمشتتة (dispersed) في البوليمر بصورة متجانسة للاستفادة .وبالإضافة إلى ذلك، يمكن للحبيبات اعطاء خصائص للبوليمرات لا يمكن أن تتحقق في التدعيم التقليدي (المايكروي). على سبيل المثال، يمكن للجسيمات متناهية الصغر في البوليمرات ان تؤدي إلى زيادة في معامل يونك وفي المتانة الميكانيكية ولكن في نفس الوقت أيضا تحافظ على ليونة البوليمر (polymer's ductility). وذلك لأن العيوب (defects) تكون صغيرة في التدعيم النانوي مقارنة بالتدعيم المايكروي. [2]

ومن المتوقع أن تكون الخواص الكهربائية للبوليمرات المدعمة بمواد نانومترية مختلفة عندما نصل الى الحشو النانوي وذلك لانه يبدا التأثير الكمي واضحا.[3] لأنه يمكن أن تتغير الخواص الكهربائية مقارنة بالحبيبات ذات الحجم الأكبر حيث عندما يقل حجم الجسيمات فان المسافة بين الجسيمات (interparticle) تقل ايضا لنفس الكسر الحجمي. لذلك يمكن للجسيمات ان تنتشر (percolation) في اقل الكسور الحجمية . وبالإضافة إلى ذلك، فإن معدل الانخفاض في المقاومية يكون اقل منه في الحشو المايكروي .وربما هذا هونتيجة للمساحة السطحية الكبيرة والمقاومة البينية العالية للمواد النانوية . كما ان السماحية للبوليمرات يمكن أن تزداد مع إضافة الكثير من الحشوات وخاصة أكاسيد المعادن،وعند التدعيم بالمواد النانوية . المواد المايكروية تؤدي الى انخفاض في متانة الانهيار (breakdown strength) ، والمواد النانوية لا تقود الى انحفاض كبير فيها ،ولكن واحدة من اهم الفوائد في التدعيم بالمواد النانوية بدلا من المواد المايكروية هو تقليل الخسائر في متانة الانهيار الكهربائي (متانة العزل الكهربائي) والناتج من فولتية الانهيار الكهربائي نتيجة للتأثير الميكانيكي للفولتية على العينة وخاصة عند الفولتيات العالية (high Voltage). [2]

الجانب النظري

1-متانة العزل الكهربائي (Dielectric Strength)

يطلق على الفولتية التي يحدث عندها الانهيار الكهربائي فولتية الانهيار (Breakdown Voltage) وعندما تقسم على سمك الانموذج تدعى بمتانة العزل (Dielectric Strength).[4]

$$Dielectric\ Strength = \frac{breakdown\ voltage}{insulator\ thickness} \quad -----(1)$$

$$E_{br} = \frac{U_{br}}{h}$$

لذلك

$$U_{br} = E_{br}.h$$

حيث: E_{br} : متانة العزل الكهربائي، U_{br}: فولتية الانهيار الكهربائي، h : سمك الانموذج

وتمثل متانة العزل للعازل أقصى شدة للمجال الكهربائي المؤثر وتقاس متانة العزل بوحدات((kV/mm)). [5,6]

2-العوامل المؤثرة في متانة العزل الكهربائي

تعتمد متانة العزل الكهربائي على عدة عوامل ومنها

1- سمك العازل (h).

2- الفولتية (U_{br}).

3- درجة الحرارة.

4- الرطوبة.

5- تردد الفولتية.

6- الزمن اثناء تطبيق الفولتية على العازل [6].

7- طبيعة وتركيب الانموذج.

8- طريقة تسليط المجال (a.c,d.c، فولتية مرتفعة (ramp)، نبضات مربعة، الخ...).[7]

9- الاجهادات الميكانيكية.[8]

10- الأقطاب.

ولا يمكن وصف الية الانهيار من خلال عامل ثابت تتغير معه وذلك لان شروط التجريب ستتغير اثناء القياس حيث تكون العوامل متداخلة ومؤثرة بعضها على البعض الاخر.

الجانب العملي

تم استخدام المواد الاتية في البحث:-

1- البولي أستر غير المشبع (Unsaturated Polyester resin)

استخدم في البحث راتنج البولي استر غير المشبع (Unsaturated Polyester resin)(Up) كمادة اساس في تحضير المواد المتراكبة البوليمرية والمصنع من قبل شركة (SIR) السعودية المبينة مواصفاته في الجدول (2). يكون هذا الراتنج على شكل سائل لزج شفاف وردي اللون عند درجة حرارة الغرفة وهو احد انواع البوليمرات المصلدة حرارياً (Thermosetting)، ويتحول هذا الراتنج من الحالة السائلة الى الحالة الصلبة وذلك بأضافة المصلد (Hardener) المصنع من قبل الشركة نفسها وهو عبارة عن (بيروكسيد مثيل اثيل كيتون) ويرمز له (MEKP) ويكون على شكل سائل شفاف يضاف الى راتنج البولي استر غير المشبع بنسبة 2 gm لكل 100 gm من الراتنج عند درجة حرارة الغرفة، ولزيادة سرعة التصلب تم استخدام مواد محفزة على التفاعل كعامل مساعد (Catalyst) تدعى المعجلات (Accleration) وهي كوبلت نفثاليت والتي تم مزجها مباشرةً مع الراتنج والمصنع من قبل الشركة نفسها والمحضر من تفاعل نفثويك اسيد مع الكوبلت اوكسايت وهو مادة غامقة اللون تكون بهيئة سائل وتضاف بنسبة (0.5) gm لكل (100) gm من الراتنج، ويمتاز هذا المعجل بأنه ذو كلفة واطئة وسريع التصلب ويعطي لوناً بنفسجياً لراتنج البولي استر لانه يساعد على امتصاص الاشعة فوق البنفسجية (UV) من الجو والتي تعتبر عاملاً رئيسياً في تصلب البولي استر [9].

والجدول (1) الخواص الكهربائية لمادة البولي استر. [10]

Property	The value
Resistivity	1014 Ω. cm
Dielectric strength,	15-20 V/μm
Dielectric constant, 60	3.0-4.4 Hz

الجدول(2)خواص مادة البولي أسترغيرالمشبع المستخدم في البحث.

Density gm/ cm^3	Thermal conductivity w/m.c°	Specific Heat J/ kg. k	Coefficient of thermal expansion 10^{-6} $(c°)^{-1}$	Fracture Toughness MPa-$m^{0.5}$	Tensile strength MPa	Percent Elongation (EL%)	Modulus of elasticity GPa
1.2	0.17	710 -920	100 - 180	0.6	41.4- 89.7	< 2.6	2.06 - 4.41

2- الألومينا (Alumina)

استعمل في البحث اوكسيد الالمنيوم (AL_2O_3) والذي يسمى الالومينا لكونها من اكثر الاكاسيد الحرارية استعمالا وذلك بسبب مقاومتها الشديدة للحرارة ومتانتها الميكانيكية ومقاومتها للصدمة الحرارية، علاوة على ذلك فهو عازل جيد للكهربائية.[11,12]. والمبينة مواصفاتها في الجدول (3) والمحضرة من شركة (MTI) الاميركية.

الجدول (3) مواصفات الالومينا المستخدمة في البحث حسب الشركة المنتجة

AL2O3	Type	purity	Particle size
Nano powder	α	99.99%	30 nm

تحضير العينات

حضرت العينات يدويا بطريقة الصب البارد باستخدام قوالب من الزجاج ذات سطوح مصقولة لتجنب تشوه سطوح العينات ولتسهيل عملية اخراجها. ففي حالة العينات اللدائنية اضيفت المادة المصلده الى المادة اللدائنية السائلة (البولستر) و خلطت جيدا حيث ارتفعت درجة حرارة الخليط دلالة على بدء التفاعل . اما تحضير عينات المادة المركبة فيتم اضافة المسحوق السيراميكي الى المادة اللدائنية (البولي استر) وتخلط بأستعمال جهاز الموجات فوق الصوتية (Ultrasonic) حتى يتجانس الخليط الى ان نصل انتشارية مثالية للدقائق السيراميكية في سائل البولستر ومن ثم تضاف المادة المصلدة للمزيج وتخلط جيدا . ومن ثم تصب المادة في القالب ببطء حتى تصل الى الارتفاع المطلوب ونتركها حتى تتصلب لمدة 24 ساعة واجريت معاملة حرارية للعينات بدرجة حرارة (70C°) لازالة الاجهادات المتبقية ولاتمام عملية البلمرة . قد انتجت العينات بعدة اسماك تتراوح من (1.5)ملم الى (4)ملم.

النتائج والمناقشة

تم استعمال جهاز متانة العزل الكهربائي والذي يتألف من مجهز للفولتية بمدى (0-60kV) وبتردد (50Hz) من نوع (BAVR- PGO-s- 3) ألماني المنشأ .حيث يوضع الأنموذج المراد قياس متانة العزل الكهربائي له بين اقطاب البراص المغمورة في الزيت مع التأكد من إحكام تماس الاقطاب مع سطح الانموذج وبتسليط فولتية على الانموذج يحدث الانهيار الكهربائي عند قيمة معينة للفولتية وتعوض هذه القيمة بالمعادلة رقم (1) للحصول على متانة العزل الكهربائي بعد قياس سمك المنطقة التي حدث فيها الانهيار والتي يمكن الاستدلال عليها من خلال اثر الضرر الذي تركه الانهيار في العينة، اما العوامل التي تم دراسة تأثيرها على متانة العزل الكهربائي فهي:

أولا: تأثير السمك

تم قياس متانة العزل الكهربائي للنماذج المحضرة لاوطأ معدل صعود فولتية (0.5 kV/sec) لاوطا سمك واعلى سمك للعينات وبدرجة حرارة (37±2 °C).

الشكل (1) يوضح تأثير السمك على متانة العزل الكهربائي للنماذج المحضرة من مادة متراكبة ذات اساس لدائني (بولي استر) فقط بدون اي اضافة، وبأسماك مختلفة، إذ لوحظ على العموم تناقص متانة العزل الكهربائي مع زيادة السمك وهذا يعني ان فولتية الانهيار بوحدات (kV) لا تتغير بشكل خطي مع زيادة السمك، وذلك لان المادة العازلة تعمل على تناقص المجال الكهربائي المؤثر بسبب استجابة الوسط العازل للمجال الكهربائي بطريقة الاستقطاب.

والشكل (2) يوضح تأثير السمك على متانة العزل الكهربائي للنماذج المحضرة من مادة متراكبة ذات اساس لدائني (بولي استر) المدعمة بالالومينا بنسبة وزنية (4 %) ، وبأسماك مختلفة، إذ لوحظ على العموم تناقص متانة العزل الكهربائي مع زيادة السمك ولكن لسمك اكبر من (2mm).

كذلك فان تأثير زيادة تيارات التسرب الناشئة من الشوائب المتمثلة باكاسيد المعادن التي تولد مسارات توصيل كهربائي تؤدي الى ظهور الانهيار الكهربائي بوقت مبكر وانخفاض متانة العزل وكذلك صعوبة استرجاع الحرارة وطرحها من وسط العازل الى المحيط وكل هذه العوامل تؤدي الى انخفاض متانة العزل الكهربائي،وغالبا ما تسمى بالتاثيرات الكهروحرارية عند الاسماك العالية ومعدلات صعود الفولتية الواطئة.

ثانيا: دراسة تأثير عدد الدورات

قيست متانة العزل الكهربائي للنماذج لأعلى معدل صعود فولتية (5kV/sec) لأقل سمك وأعلى سمك للنموذج إذ نسلط الفولتية لاكثر من مرة، مع مراعاة اخذ نفس النقطة لكل سمك وكررت العملية خمس مرات وبشكل دوري.

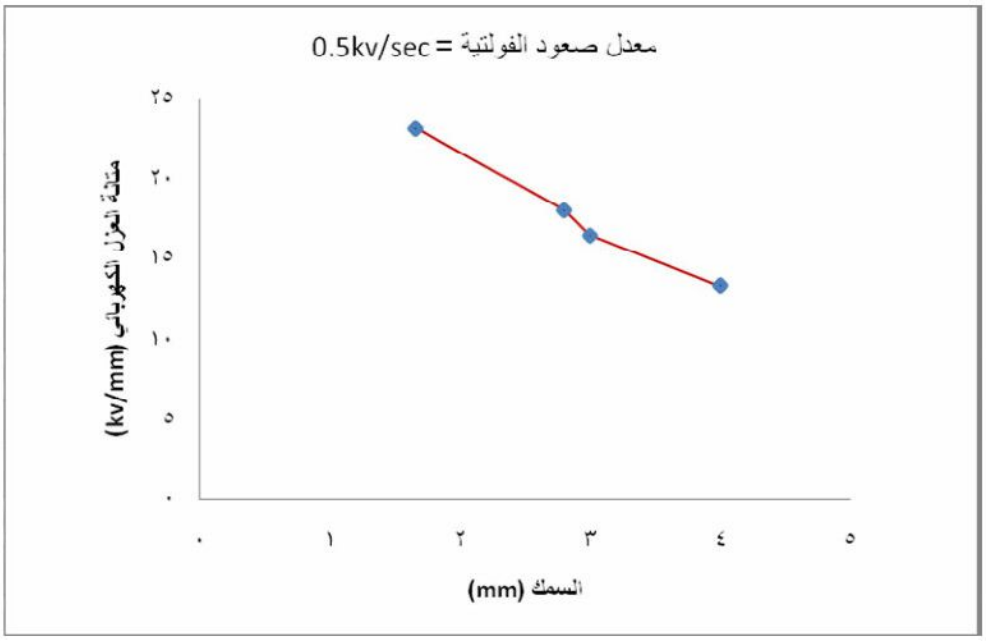
يعد اختبار تغير متانة العزل الكهربائي مع عدد دورات الانهيار من الاختبارت التي يمكن بوساطتها معرفة امكانية استعمال العوازل الكهربائية التي تحصل فيها انهيارات كهربائية واعادتها الى الخدمة مرة أخرى في تطبيقات عملية تحتاج الى فولتيات اقل.

الأشكال (3) و (4) تبين تغير متانة العزل الكهربائي مع عدد الدورات لنماذج المتراكب (بولي استر نقي وبولي استر مدعم ب((4%) الومينا)، ونلاحظ انخفاضاً حاداً في متانة العزل الكهربائي لجميع الاسماك المختلفة ، ومن الممكن ان يعزى سبب ذلك الى التغيرات الكيميائية الكبيرة التي تظهر على طول انتشار الشرارة الكهربائية .وان الهبوط في الانهيار الكهربائي يكون واضحا لجميع متراكبات بولي استر -الومينا وهذا يعني عدم امكانية استعمال المواد المتراكبة بعد حصول حالة الانهيار وكذلك نلاحظ تحول مادة الاساس الى مركبات كاربونية نتيجة الانهيار الكهربائي ، حيث يحصل تحطم للسلاسل البوليميرية نتيجة الانهيار الكهربائي.

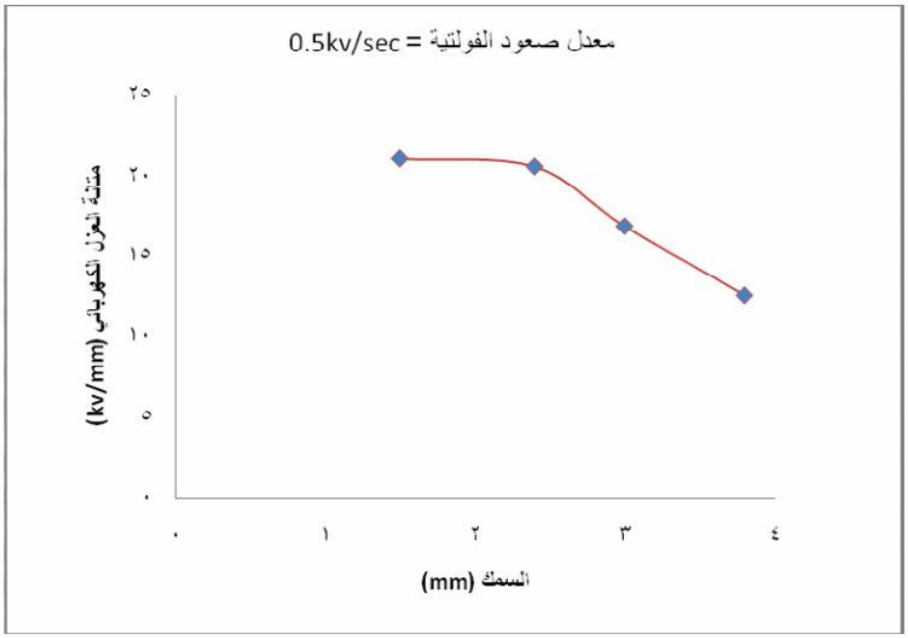
ثالثا: الفحص بالمجهر الضوئي

أخذت صور باستعمال مجهر ضوئي من نوع (Nikon) ياباني المنشأ مزود بكاميرا مربوطة بجهاز الحاسوب لملاحظة التغيرات الحاصلة في منطقة الانهيار الكهربائي.

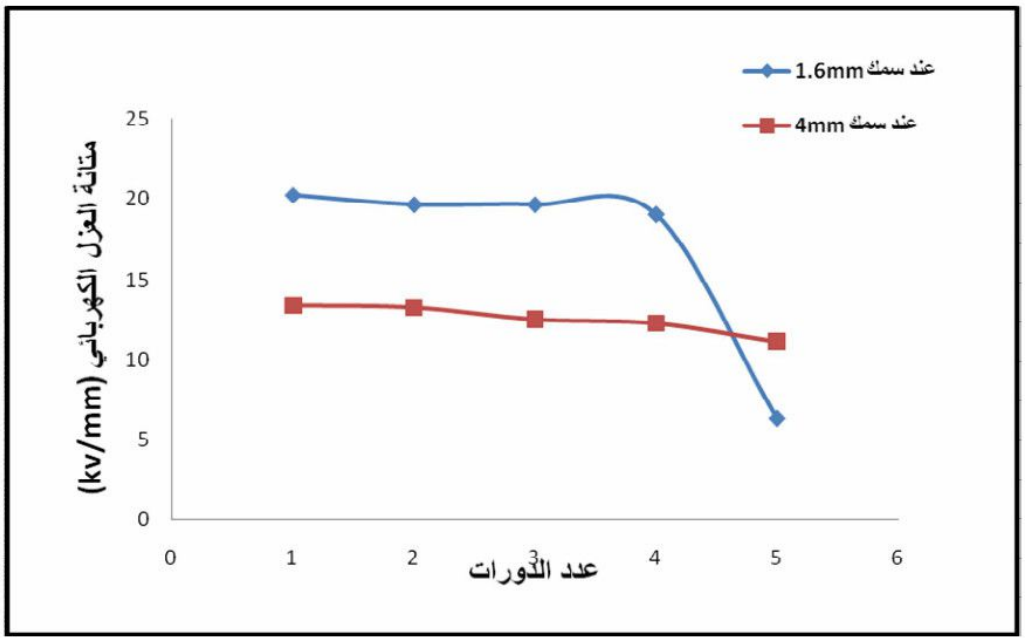
الشكل (5a) يوضح صورة للعينة بالمجهر الضوئي قبل تعرضها للانهيار والشكل (5b) يوضح صور أخرى مأخوذة بالمجهر الضوئي لمنطقة الانهيار الكهربائي وتبين مقدار التفحم الحاصل في الانموذج بعد عملية الانهيار الكهربائي دليلاً على تحطم السلاسل البوليمرية لبوليمر (البولي استر).



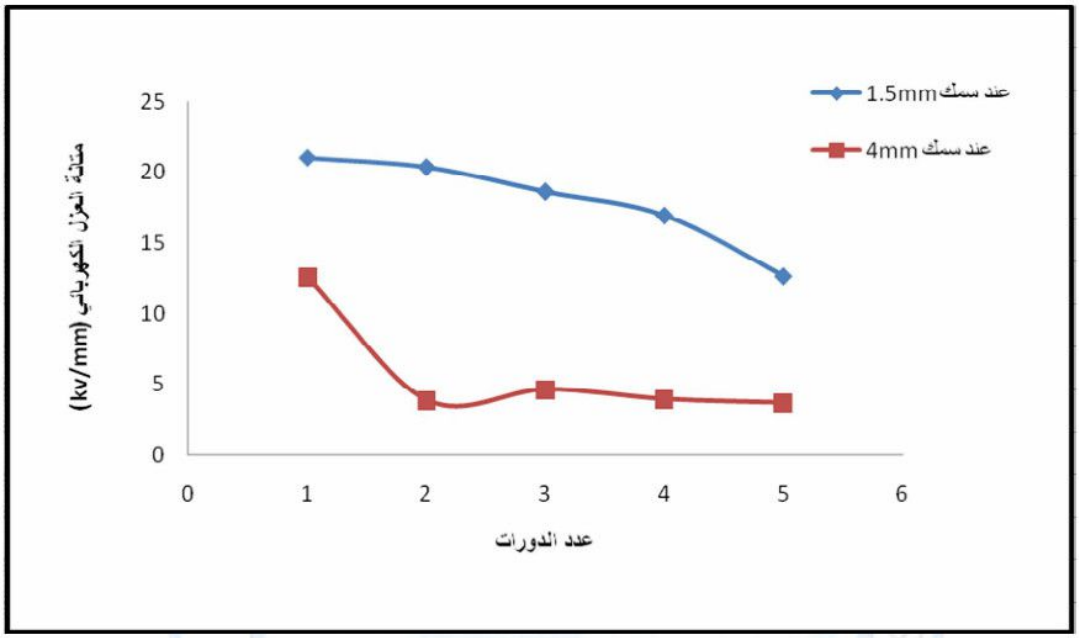
الشكل (1) يوضح متانة العزل الكهربائي مع السمك لأنموذج (Pure polyester).



الشكل (2) يوضح متانة العزل مع السمك (96% Polyester +4% Alumina)



الشكل (3) يوضح متانة العزل مع عدد الدورات لأنموذج (Pure polyester) لمعدل صعود الفولتية (5 kV/sec).



الشكل (4) يوضح متانة العزل مع عدد الدورات لأنموذج (96% Polyester +4% Alumina) لمعدل صعود الفولتية (5 kV/sec).

صور المجهر الضوئي

الشكل (5a) يوضح صورة لعينة (96% Polyester +4% Alumina) قبل حدوث الانهيار الكهربائي.

الشكل (5b) يوضح حدوث تفحم في أنموذج (96% Polyester +4% Alumina) بعد حصول الانهيار الكهربائي.

المصادر

1. Mei Zhang, Raman P. Singh,"***Mechanical reinforcement of unsaturated polyester by AL2O3 nanoparticles***",Materials Letters vol. 58,p. (408– 412), (2004).
2. P. M. Ajayan, L. S. Schadler, P. V. Braun"***Nanocomposite Science and Technology***",WILEY-VCH Verlag GmbH Co. KGaA, Weinheim,p.(93-138-139),(2003).
3. *Carlos Pérez Bergmann and Mônica Jung de Andrade (Eds.),"N****anostructured Materials for Engineering Applications"****, Springer-Verlag Berlin Heidelberg,*p.9,(2011).
4. A. Brent Strong, "***Plastics Materials and Processing***", 2nd ed., United State Of America, P. (176- 178),(2000).
5. W. Bolton, "***Engineering Materials Technology***", 3rd ed. Great Btritain, P.(16-17-176-481), (1998).
6. B. Tareev, "***Physics of Dielectric Material***", Moscow, P.(203, 152, 155, 160, 188-189, 198- 200), (1979).
7. Roland Coelho, "***Physical of Dielectrics***" for engineering, Vol. 1, New York, P. 143, (1979).
8. R. L. Timings, "***Engineering Materials***", Vol. 2, 2nd. ed., Malaysia, P. 300, (2000).
9. الجبوري ،قحطان عدنان حمد ،"***دراسة الخصائص الميكانيكيةوالفيزيائية لمواد متراكبة ذات اساس بوليمري مقواة بالالياف والدقائق***"،رسالة ماجستير ،الجامعة التكنولوجية، 2008م.
10. Brian S. Mitchell," ***FOR CHEMICAL AND MATERIALS ENGINEERS***", A JOHN WILEY & SONS, INC., p(593), (2004).
11. و.ريان،"***خواص المواد الخام السيراميكية***"،ترجمة فاضل بندر عباس و اخرون،وزارة التعليم العالي والبحث العلمي،دار التقني للطباعة والنشر , (1986).
12. العمار،حيدر صاحي حسين، "دراسة ***بعض العوامل المؤثرة على متانة العزل الكهربائي لمتراكبات) سيراميك– زجاج***"(،رسالة ماجستير،جامعة بغداد، (2008)م.