

دراسة خصائص المتانة الكهروميكانيكية لمتراكبات الايبوكسي المشتتة بمسحوق السيليكا

شهاب احمد زيدان

أمانى زهير محمد

الجامعة التكنولوجية / قسم العلوم التطبيقية

استلم في : 6/ تشرين الاول/ 2016، قبل في : 7/ تشرين الثاني/ 2016

الخلاصة

اضيف مسحوق السيليكا (SiO_2) بنسب وزنية مختلفة (3.75, 7.5, 11.25, 15wt%) الى بوليمر الايبوكسي وبحجم حبيبي $\geq 63 \mu\text{m}$. بعد التشكيل بطريقة القولبة اليدوية قطعت العينات ودرست المتانة الكهروميكانيكية. وجد ان متانة العزل الكهربائي تتغير لاجتياً مع سمك العينات. كذلك تتناقص مع تناقص المعدل الزمني لصعود الفولتية بسبب التأثيرات الكهروحرارية. ايضاً انخفضت متانة العزل الكهربائي مع زيادة نسبة اضافة السيليكا. اما الصلادة ومقاومة الشد ومعامل يونك فقد ازدادت جميعاً مع زيادة نسبة الاضافة بسبب تحول خصائص المادة من المطيلية الى الهشة. ظهرت تشققات مجهرية وتشوهات غير منتظمة في حدود منطقة الانهيار الكهربائي عند الاضافات العالية من السيليكا بينما ظهرت حالة من الانصهار والانتقاب وانتظام نقطة الانهيار الكهربائي للعينات ذات نسب الاضافة الواطئة والايوكسي بدون اضافة.

الكلمات المفتاحية: مواد متراكبة، ايبوكسي، سيليكا، متانة العزل الكهربائي، معامل يونك، الصلادة.

المقدمة

تعد متراكبات الايبوكسي واحدة من اهم المواد العازلة كهربائياً، وتتميز بخصائص عزلية كهربائية وميكانيكية واستقرارية كيميائية عالية بالمقارنة مع المتراكبات البوليمرية الاخرى لاسيما تلك المدعمة بمساحيق السيليكا. فضلاً عن ان المتراكبات ذات الأساس البوليمري من أكثر أنواع المواد المتراكبة استخداماً وذلك لخواصها الجيدة بالإضافة الى سهولة تصنيعها، وتعد هذه المواد حديثة الأستعمال في أغلب التطبيقات التكنولوجية والهندسية، ان أهم متطلبات أستعمال هذه المواد هي الأداء العالي ، المتانة الجيدة، مقاومتها للأجهادات الداخلية والخارجية، ومقاومتها للظروف المحيطة مثل الضغط ودرجة الحرارة وغيرها. [1].

ولعل من ابرز الخصائص التي تتميز بها البوليمرات المشتتة بالمساحيق السيراميكية هي ارتفاع متانة العزل الكهربائي والتي تحصل عند تسليط مجال كهربائي قوي على مادة عازلة أعلى من القيمة الحرجة المحددة فإن التيار الكهربائي الساري في العازل سيكون عاليا نسبياً ، وهذا يؤدي الى فقدان المادة لخواصها العزلية وتحولها الى موصل . [2]
متانة العازل (Dielectric Strength) هي قابلية المادة العازلة على مقاومة الفولتية العظمى المسلطة عليها لفترة طويلة بدون أنهيار أو فشل . [3]

يمكن قياس متانة العازل من خلال المجال الكهربائي (E_{br}) ويُمثل المجال الذي تفشل أو تنهار عنده المادة العازل. [4] وأن :

$$E_{br} = \frac{V_{br}}{h} \quad \dots (1)$$

إذ أن: V_{br} : أقصى فولتية مطبقة على العازل. h : سمك المادة العازلة.

وحدات قياس متانة العازل أو الأنهيار الكهربائي هي kV/cm أو kV/mm . [5]

يكون الأستدلال على حدوث أنهيار في المادة العازلة من خلال حدوث أحد الحالات الآتية:

1- حدوث ثقب في المادة العازلة. 2- حدوث صهر أو حرق في المادة العازلة . [6]

عندما تُسلط فولتية متناوبة على مادة عازلة تحصل عدة ظواهر في العازل مثل الأستقطاب والتوصيل الكهربائي، إذ أن زيادة الفولتية تؤدي الى زيادة في تيارات التسرب، وعندما تكون الفولتية في أعظم قيمة لها والتي تُمثل في أنهيار المادة العازلة، وفي هذه اللحظة يتم تسريب تيار التوصيل في المادة العازلة بشكل متزايد، وبعدها تبدأ الفولتية بالأخفاض بسبب انخفاض مقاومة المادة العازلة وتُمثل هذه الحالة غالباً بكل دائرة تمر بين أقطاب المصدر. [7]

بما ان التطبيقات العملية للعوازل البوليمرية المشتتة بالمساحيق السيراميكية تعتمد الى حد كبير على نسبة المساحيق المضافة وشكلها وحجمها وبالتالي فان تغييراً سيحصل في الخصائص الميكانيكية نتيجة تلك الاضافات ولذلك من المناسب جداً تحديد تلك الخصائص لضمان جودة اداء تلك المتراكبات. [8]

وتُعد دراسة الخصائص الميكانيكية للمواد المتراكبة من الأمور المهمة لأنها تحدد سلوك هذه المواد عندما تكون تحت تأثير الإجهاد المُسلط عليها وكذلك تأثير الظروف الخارجية المُختلفة ، لأن هذه العوامل تؤثر في الخصائص الميكانيكية للمواد المتراكبة ذات الأساس البوليمري ، لذلك تعد دراسة الخصائص الميكانيكية من الأمور المعقدة بسبب تعدد المتغيرات التي تؤثر في كل خاصية ، وبعد معرفة هذه الخصائص يمكن اختيار المادة المناسبة للأغراض التطبيقية بحسب طبيعة المادة. [9]

تعتمد أستعمالات المواد المتراكبة في التطبيقات الهندسية على خصائصها الميكانيكية الى حد كبير مثل : المرونة (Elasticity) ، متانة الشد (Tensile Strength) ، قابلية المادة للأستطالة (Elongation) ، ومقاومتها للظروف البيئية والحرارة وغيرها من الخصائص التطبيقية الأخرى. وان جميع هذه الخصائص تعتمد بشكل كبير على الوزن الجزيئي (Molecular Weight) ، التركيب الجزيئي (Molecular Structure) ، والقوى الجزيئية (Molecular Forces) للراتنج، إذ يوجد نوعان من القوى هما قوى الأواصر الكيميائية القوية الموجودة بين ذرات السلسلة ، وقوى الأواصر الثانوية الموجودة بين السلاسل، وان هذه الخصائص تعتمد بشكل كبير على مواد التقوية ، وعلى المواد المضافة مثل الملائنات (Fillers) والمُلدنات (Plasticizers).

التأثيرات الكهروميكانيكية: اذا افترضنا ان قوى التجاذب (F) التي تنشأ نتيجة التجاذب الكهروستاتيكي للشحنات على سطح المادة عند تسليط فولتية مقدارها (V) وأن السمك الأبتدائي (d_0) لعينة معامل يونك لها (Y) ، وهذه القوة الكهربائية في حالة الأتزان تسبب ضغطاً يتوازن مع قوة اعادة المرونة ولذلك ترتبط أقصى شدة مجال كهربائي (E_a) تتحملها المادة العازلة بمعامل يونك كما في العلاقة الآتية:

$$E_a = \frac{v}{d_0} = 0.6 \left[\frac{Y}{\epsilon_0 \epsilon_r} \right]^{\frac{1}{2}} \quad \dots (2)$$

إذ ϵ_0 سماحية الفراغ ($8.85 \times 10^{-12} F/m$) ، ϵ_r ثابت العزل الكهربائي للمادة العازلة. [10]

الانهيار الكهرو حراري Electrothermal Breakdown

يرتبط الانهيار الكهرو حراري بعملية فقدان على شكل حرارة التي تحصل في المادة العازلة بشكل مباشر ، وذلك نتيجة لوجود العازل بتأثير المجال الكهربائي ، وأن الانهيار الكهرو حراري يحدث كالاتي :
يؤدي تسليط فولتية على المادة العازلة الى خروج حرارة منها نتيجة للفقد و بزيادة درجة الحرارة يزداد الفقد ، وأن وجود الشحنات الحرة في العيوب البلورية (مثل الاطوار البينية والفراغات) يغذي تيار التوصيل ويؤدي الى تشتت الحرارة من خلال تأثير جول والأسترخاء في المجال المتناوب . ويكون مقدار الحرارة التي تنتج موضعياً أكثر من الحرارة المشتتة وذلك بسبب التوصيلية الحرارية القليلة للمواد العازلة . وأن تراكم الحرارة الموضعي يمكن أن يؤدي الى أما انتقال الشحنات من حزمة لحزمة أو أنصهار موضعي أو تولد حراري للشحنات الحرة بواسطة الانتقال من مستويات مجتمعة ، كذلك ممكن أن يحدث تحلل كيميائي موضعي للمادة، وأن كل الظواهر مجتمعة أو منفصلة تؤدي الى انخفاض صلابة المادة ومن ثم تؤدي الى انهيارها وظهور شقوق واسعة غير منتظمة على المادة المنهارة. وقد يحدث ثقب بالقرب من حافات المادة العازلة إذ أن المجال الكهربائي يكون أكثر تراص وكثافة في تلك المنطقة، وتبرز هذه الحالة في الانهيار الكهربائي بشكل أكبر وتسمى بتأثير الحافة (Edge Effect). [7,11]

المواد المستعملة

راتنج الأيبوكسي (EP)

الأيبوكسي سائل شفاف، ويصنف ضمن البوليمرات المتصلبة بالحرارة (thermosetting polymer) ويتكون من مادتين المادة الأساس (Resin) ، والمادة المصلبة (Hardener) تُخلط بنسب محددة عند الاستعمال ، ويمثل المادة الأساس (Matrix) أستعمل راتنج الأيبوكسي نوع Sikadur®-42 تُركي المنشأ.

السيليكا (SiO₂)

عبارة عن مسحوق ناعم أبيض اللون ، أستعمل كمادة مألثة (Reinforcement) للمادة الأساس (EP) ، بحجم حبيبي $\geq 63\mu\text{m}$ ، بعد التجفيف تم إضافته بنسب وزنية مختلفة % wt (3.75,7.5,11.25,15).

تحضير العينات

تم اتباع طريقة القولية اليدوية (Hand lay-up) لتحضير المتراكبات (بوليمر-سيراميك) ، إذ تم تحضير القوالب يدوياً من مادة الفابلون (ورق مقوى شفاف) بأحجام متساوية ، بعدها تم تحضير عينات الاختبار من خلال تحضير عينات لراتنج الأيبوكسي بدون إضافة من خلال خلط المادة الأساس (Resin) مع المصلد (Hardener) مع الاستمرار بالتحريك المتواصل لمدة (10 min) بعدها تم تحضير عينات المادة المتراكبة من خلال إضافة المادة السيراميكية التي تعد المادة المقوية بأربع نسب مختلفة للأيبوكسي مع استمرار التحريك لـ (10 min) للمرة الثانية ، بعد ذلك تم توزيع كل خلطة على أربع قوالب وبكميات مختلفة وذلك من أجل الحصول على أسماك مختلفة لكل نسبة إضافة ، وُتركت العينات لمدة من الزمن لأكتساب القوة ثم تم تقطيع العينات للأشكال المطلوبة لأجراء الاختبارات.

الاختبارات Testing

1- متانة العزل الكهربائي Breakdown test

تتألف منظومة قياس متانة العزل الكهربائي من الأجزاء الآتية:
أ. مجهر الفولتية (High Voltage) ويعمل بالمدى (0-60 kV) ، وبالتردد (50 Hz) ، والجهاز ألماني المنشأ من نوع (BAUR – PGO – S3) .
ب. سائل يمتلك متانة عزل كهربائي عالية ، أستعمل زيت المحولات (40 kV/mm) وذلك لمنع حصول انتقال الحرارة العرضي (Flashover) ، ويجب تبديل الزيت بشكل دوري لضمان عدم تأينه وذلك لضمان الحصول على قياسات دقيقة من خلال انتقال الحرارة داخل العينات .
ج. أقطاب كروية الشكل مصنوعة من مادة البراص جيدة التوصيل الكهربائي قطرها (2mm) ، إذ يتم وضع نموذج الاختبار بين الأقطاب (الأقطاب وعينة الاختبار مغمورة كلياً بالزيت) . وبعد قياس أقصى فولتية انهيار وباستعمال المعادلة (1) يتم الحصول على متانة العزل الكهربائي.
تُقاس متانة العزل الكهربائي بواسطة جهاز قياس متانة العزل الكهربائي، إذ يتم وضع نموذج الاختبار بين أقطاب البراص الكروية (تكون أقطاب البراص وعينة الاختبار مغمورة كلياً بالزيت) ، إذ يجب أن يكون سطح النموذج في تماس مباشر مع أقطاب البراص أثناء إجراء الاختبار ، بعد ذلك يتم تشغيل الجهاز ويتم تحديد زمن صعود الفولتية المطلوب ، عند بدء الاختبار تبدأ الفولتية بالصعود تدريجياً حتى يحدث انهيار الكهربائي عند قيمة معينة للفولتية تظن لنا من خلال لوحة رقمية موجودة بالجانب الأيسر من الجزء السفلي للجهاز ، وعند تعويض هذه القيمة وتعويض سمك العينة التي حدث فيها الانهيار الكهربائي في المعادلة (1) يتم الحصول على متانة العزل الكهربائي.

2- صلادة شور

يعطي مقياس صلادة شور دلالة واضحة على خواص البوليمرات المطاطية في الشد ، إذ كلما كانت الصلادة قليلة زاد مقدار استطالة العينة قبل الكسر.

تم إجراء اختبار الصلادة من نوع (Shore-D durometer) على العينات المحضرة بواسطة جهاز رقمي من نوع (TH210) صيني المنشأ.

3- اختبار الشد Tensile test

يُعتبر اختبار الشد من أكثر قياسات (الأجهاد – أنفعال) شيوعاً ، وعندما يتم شد مادة وسحبها فإن أجهاد الشد سيطبق على وحدة المساحة ويمكن التعبير عنه بالمعادلة الآتية:

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad \dots (3)$$

إذ أن: σ أجهاد الشد (N/m^2) ، F قوة الشد (N) ، A_0 : المساحة (m^2)
إذا سبب الشد استطالة فإن أنفعال الشد يمكن أيجاده من المعادلة الآتية:

$$\epsilon = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \quad \dots (4)$$

إذ أن: ϵ : أنفعال الشد ، l_0 : الطول العينة قبل الإستطالة (mm) ، l_1 : طول العينة بعد الإستطالة (mm)
وعندما يصل اختبار الشد الى أقصاه أي زيادة القوة الى أن تفشل العينة فإن متانة الشد القصوى يمكن أيجادها من المعادلة الآتية:

$$\sigma_m = \frac{F_m}{A} \quad \dots (5)$$

إذ أن: σ_m : متانة الشد القصوى (N/m^2) ، F_m : القوة عند فشل النموذج (N) ، A : مساحة المقطع العرضي عند الفشل (m^2) [12]

عند شد المادة فإن أبعادها العمودية على اتجاه تسليط القوة ستقل وبالتالي فإن مساحة المقطع العرضي ستقل أيضاً [13]. تم إجراء اختبار الشد للعينات المحضرة بواسطة جهاز اختبار الشد من نوع (JIANQIAO) صيني المنشأ.

اختبار الانحناء ثلاثي النقط Three point bending test

من اختبار الانحناء يمكن حساب معامل يونك كما في المعادلة التالية:

$$Y = \frac{MgL^3}{48IS} \quad \dots (6)$$

إذ أن : E : معامل يونك (N/mm^2) ، M : الكتلة المسلطة على النموذج (kg) ، g : التعجيل الأرضي (m/s) ، L : المسافة بين نقطتي الارتكاز (mm) ، I : عزم الانحناء الهندسي (N/mm^4) ، S : الانحناء الناتج عن الحمل المسلط (mm). وأن عزم الانحناء الهندسي (I) يحسب من المعادلة الآتية:

$$I = \frac{bd^3}{12} \quad \dots (7)$$

إذ أن : b : عرض النموذج (mm) ، d : سمك النموذج (mm)

النتائج والمناقشة

أ. تأثير المعدل الزمني لصعود الفولتية في متانة العزل الكهربائي

تم دراسة تأثير معدل صعود الفولتية في متانة العزل الكهربائي للعينات المحضرة وبمعدلات صعود فولتية مختلفة (0.5 , 1 , 2 , 3 , 5 kV/sec) بدرجة حرارة الغرفة. الأشكال (1-4) توضح تغير متانة العزل الكهربائي مع المعدل الزمني لزيادة الفولتية للمادة المتراكبة (أيبوكسي _ ثنائي أوكسيد السيليكون) ، عموماً هذه الأشكال توضح زيادة متانة العزل الكهربائي مع زيادة المعدل الزمني لزيادة الفولتية ، وذلك لأن معدل الصعود الواطئ يؤدي الى زيادة في تيارات التسرب وبذلك تزداد الحرارة الناشئة عنها ، وبما أن مقاومة المادة العازلة تقل عند زيادة الحرارة الموضعية أذن متانة العزل الكهربائي ستنخفض مع انخفاض المعدل الزمني لصعود الفولتية. كذلك من أسباب الانخفاض في متانة العزل الكهربائي مع انخفاض المعدل الزمني لزيادة الفولتية حدوث تأثيرات تراكمية للأصطدام "الكيميائي والكهروكيميائي" والتآكل الذي يؤدي الى تحطيم المواد وأسراع الانهيار بواسطة التسخين "الانهيار الكهروحراري" وأن هذه القيم المنخفضة تُعبر عن القيم

التشغيلية عند أستعمال العوازل في التطبيقات العملية ، وأن القيم التي تم الحصول عليها من معدل الزيادة العالية تمثل لحظة غلق أو فتح الدوائر الكهربائية .
من الممكن حصول شذوذ في هذا السلوك في بعض الحالات وذلك بسبب العيوب الموجودة داخل المادة المترابطة إذ أن الشرارة الكهربائية مُمْكِن أن تخرق العازل الكهربائي لحظة الأنهييار وتمر في نقاط العيوب التي تعد نقاط ضَعْف في المادة.

تأثير السُمك

تم دراسة تأثير تغير السمك في متانة العزل الكهربائي لأربع أسماك مختلفة لأقل معدل صعود فولتية (0.5 kV/sec) وأعلى معدل صعود فولتية (5 kV/sec) بدرجة حرارة العُرْفَة الأشكال (5-9) تُبين مدى تأثير سمك المادة على متانة العزل الكهربائي لعينات الأيبوكسي بدون إضافة والعينات ذات الأساس البوليمري المدعمة بنسب مختلفة من ثنائي أكسيد السيليكون ، وهذه الأشكال تبين أن العلاقة بين متانة العزل الكهربائي وزيادة سمك المادة علاقة غير خطية. وسبب ذلك أن المادة العازلة تعمل على تناقص المجال الكهربائي بطريقة الأستقطاب و أن هذا التأثير أي التناقص في المجال الكهربائي الخارجي يزداد مع زيادة سُمك المادة ، وان الشوائب الموجودة في ثنائي أكسيد السيليكون تؤدي الى الزيادة في تيارات التسرب وبالتالي تؤدي إلى أنخفاض متانة العزل الكهربائي و صعوبة في أسترجاع الحرارة وطرحها من وسط العازل الى المحيط ، بالإضافة إلى ان جميع هذه العوامل تؤدي إلى انخفاض في متانة العزل الكهربائي .
من الممكن أن يحصل شذوذ في هذا السلوك في بعض الحالات أي أن "متانة العزل الكهربائي تزداد بأزدياد السُمك في بعض القيم" وذلك لأن الشرارة الكهربائية تتخذ مساراً أطول داخل المادة العازلة لوجود أطوار مختلفة في المادة المترابطة وان هذه الاطوار تعمل كعائق يعيق مرور الشرارة الكهربائية ويجعلها تأخذ مساراً متعرج عوضاً عن المسار المباشر بين القطبين.

تأثير اضافة السيليكا

الشكل (10) يوضح تغير متانة العزل الكهربائي مع تغير نسب إضافة المادة السيراميكية وعند مقارنة قيم متانة العزل الكهربائي لمادة الأيبوكسي النقي وللمادة المترابطة نلاحظ أن أعلى قيمة لمتانة العزل الكهربائي تكون في المادة النقية وتبدأ متانة العزل بالأنخفاض مع زيادة نسبة الأضافة للمادة السيراميكية . ويعود سبب ذلك الى إنخفاض متانة العزل الكهربائي لثاني أكسيد السيليكون بالمقارنة مع متانة العزل الكهربائي للأيبوكسي فضلاً عن نشوء مناطق ضعف في الأطوار البيينية والتي تعد مناطق ذات متانة إنهييار واطنة ومن ثم زيادة نسبة السيليكا يزيد من نسبة الأطوار البيينية . كذلك بسبب وجود الفقاعات الهوائية المايكروية والتي من الصعب إزالتها عملياً والتي تعد من أكبر الأسباب التي تقلل من متانة العزل الكهربائي.

الصلادة

نلاحظ أزدياد الصلادة عند إضافة ثنائي أكسيد السيليكون SiO_2 (السيليكا) الى الأيبوكسي وتزداد الصلادة بأزدياد نسبة السيليكا المضافة كما في الشكل (11). ان ارتفاعاً انخفاض الصلادة ممكن تفسيره على أساس الإعاقة التي تبديها المادة للغرز فهي تزداد كلما كانت المادة أكثر هشاشة أي بزيادة معامل يونك . فضلاً عن ارتفاع صلادة المادة المضافة بالمقارنة مع مادة الأساس . و زيادة الصلادة تعني زيادة مقاومة المادة للغرز والبلى الميكانيكي .

أختبار الأنحاء

الشكل(12) يوضح التغير في منحنى (الحمل - أستطالة) لكل من المادة النقية والمادة المترابطة بنسب إضافة مختلفة ، ونلاحظ من الشكل أن المطيلية تقل (أي ان هشاشة المادة تزداد) بأزدياد نسبة إضافة المادة السيراميكية.ومن مخطط الحمل- استطالة تم حساب معامل يونك ودرجت النتائج في الجدول (1). نلاحظ ارتفاع قيم معامل يونك مع زيادة نسبة اضافة السيليكا بسبب تحول المادة من الحالة المطيلية الى الهشة بزيادة المسحوق السيراميكي.

العلاقة بين الخصائص الميكانيكية و متانة العزل الكهربائي

يتبين من المعادلة (2) ان متانة العزل الكهربائي تتناسب مع معامل يونك وان زيادة الأنفعال الميكانيكي يؤدي الى نقصان معامل يونك، ولكن من الشكل (13) نلاحظ ان العلاقة عكسية بين متانة العزل الكهربائي ومعامل يونك بسبب التغير الحاصل في تركيب المادة نتيجة الاضافات الحاصلة في السيليكا والتي لا تجعل التناسب واضحاً بين متانة العزل الكهربائي ومعامل يونك بالاضافة الى التغيرات الحاصلة في ثابت العزل الكهربائي نتيجة اضافة السيليكا والذي يعتبر احد العوامل المؤثرة في المعادلة (2).
تزداد متانة الشد بزيادة نسبة السيليكا وتنخفض متانة العزل الكهربائي بزيادة نسبة الإضافة أي ان العلاقة عكسية بين متانة الشد و متانة العزل الكهربائي وكما موضح في الشكل (14).

الفحوصات المجهرية Microscopic Tests

المجهر الضوئي Optical Microscope:

تم أخذ عدة صور لسطوح العينات بوساطة المجهر الضوئي بقوة تكبير (400 , 100 , 40) وذلك لتوضيح آثار الحرق والأنصهار الحاصل في العينات بسبب حدوث الأنهييار الكهربائي والتي تكون عادة على شكل مناطق سوداء .
توضح الأشكال (18-15) الشقوق المتداخلة مع النقطة التي حصل فيها أنهيار كهربائي بعد عدة دورات من الأنهييار الكهربائي ، وان سبب الشقوق المتوقع عند الأنهييار الكهربائي هو هشاشة المادة ، وكلما زادت نسبة الإضافة يزداد توقع حدوث الشقوق بسبب ازدياد هشاشة المادة ، وبالتالي تناقص الخصائص الميكانيكية للعينات التي تظهر فيها شقوق مجهرية ويعتمد طول الشقوق الناشئة عن الأنهييار الكهربائي على مقدار شدة المجال الكهربائي المؤثر . ومن المتوقع تكسر السلاسل البوليمرية لمادة الأيبوكسي وتحرر غاز الهيدروجين وبقاء الكاربون على شكل منطقة سوداء في داخل العينة على أثر الأنهييار الكهربائي ، وتظهر فقاعات اثناء الإنهييار يُعتقد إنها لغاز الهيدروجين او المسامات في العينة . الأشكال (21-19) توضح شكل الأثر للأنهييار الكهربائي بعد دورة واحدة ، إذ نلاحظ عدم وجود الشقوق.
أما في الأشكال (24-22) نلاحظ وجود الفقاعات وان ظهور الفقاعات هو نتيجة لتحرر الغازات من تركيب البوليمر وعدم قدرتها على الخروج من العينة بسبب لزوجة فقاعة البوليمر ، وكذلك نلاحظ نقطة أنصهار المادة البوليمرية . وتظهر هذه الحالة بشكل واضح في حالة معدل صعود الفولتية البطيء حيث تتحرر حرارة تعمل على صهر البوليمر أثناء الأنهييار الكهروحراري .

الاستنتاجات

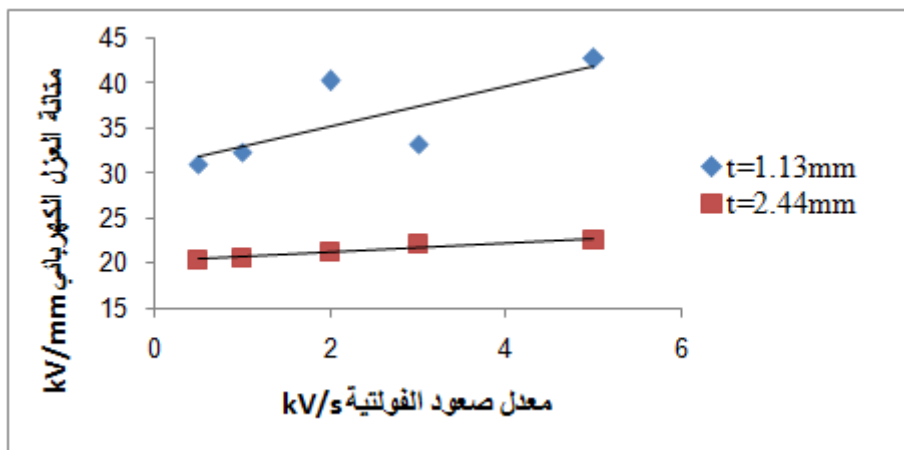
- تعتمد متانة العزل الكهربائي على سمك العينة ومعدل صعود الفولتية بالاضافة الى تناقصها مع زيادة كمية السيليكا المضافة لمتراكبات الايبوكسي.
- حصول تحول في المتراكبات ذات الاساس من الايبوكسي نتيجة اضافة مسحوق السيليكا ومن ثم ارتفاع معامل يونك و متانة الشد.
- العلاقة عكسية بين معامل يونك و متانة العزل الكهربائي وهي تخالف العلاقة النظرية بسبب تأثير اضافة المساحيق السيراميكية.
- الأنهييار الكهربائي ادى الى ظهور شقوق مجهرية في العينات المضاف اليها نسب عالية من السيليكا، مما يؤدي الى تناقص المتانة Toughness .
- الأنهييار الكهربائي عند معدلات صعود الفولتية الواطئة يؤدي الى صهر عينات الايبوكسي وانتظام منطقة الأنهييار هندسياً بسبب التأثيرات الكهروحرارية مما يسبب تدهوراً خطيراً في متانة العزل الكهربائي ولكن اضافات السيليكا تقلل من تلك المخاطر لارتفاع درجة حرارة انصهارها وانتشارها في المادة المتراكبة بالرغم من تشوه وعدم انتظام منطقة الأنهييار.

المصادر

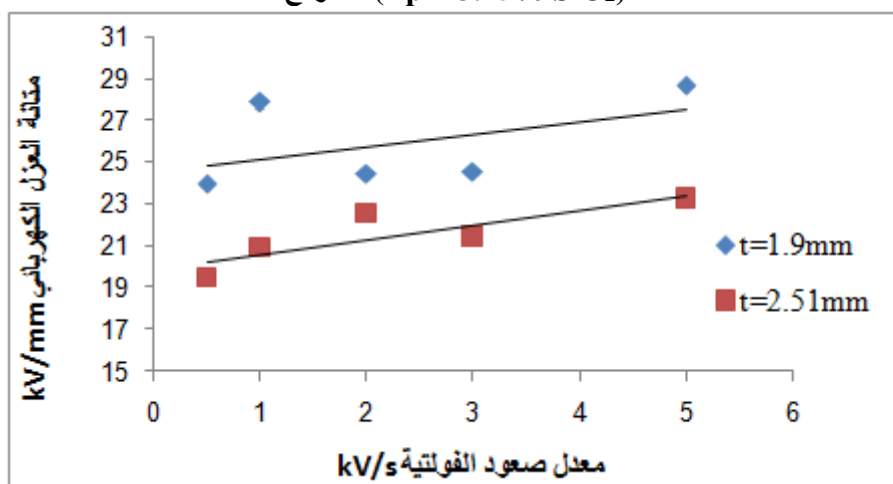
1. الراوي، خالد رشاد و سلمان رفقة عامر، (2014) "دراسة بعض الخواص الميكانيكية لمتراكب (Epoxy-MgO)" ، مجلة جامعة النهرين ، 17 ، 1 .
2. Pascoe, K. J., (1974) "Properties of Materials for Electrical Engineers", John Wiley and Sons, London.
3. Blyth, A. R., (1979) "Electrical Properties of Polymers " , Cambridge University Press, London.
4. Pampuch, R., (1976) "Ceramic Materials an Introduction to Their Properties" , Elsevir scientific pub.com , Amsterdam.
5. Mehta, V. K., (2004) "Principles of Electrical Engineering and Electronics" , S. Chand & Comp. LTD. Ramnagar , New Delhi India.
6. Stanek, J., (1977) "Electric Melting of Glass" , Elsevier Scientific Comp , LTD , Amsterdam .
7. Tareev, B. (1979) "Physics of Dielectric Materials" , Mir Publishers , Moscow.
8. شعلان منى محمد، (2016) "دراسة تأثير الحجم الحبيبي لمادة التدعيم على خصائص المادة المترابطة" ، جامعة الأنبار ، كلية التربية للعلوم الصرفة.
9. Kffel, E. and Zaengl W. S., (1984) "High – Voltage Engineering" , Perganan Press , Frankfurt.
- 10- أي. كفل ، أم. عبد الله، (1982) "هندسة الضغط العالي" ، ترجمة: د.مأمون فاضل ، اودا أ بلحد ، فاروق خليل ، دار الكتب للطباعة والنشر ، جامعة الموصل.
10. Bunget, I. and Mihai P., (1984) "Physics of Solid Dielectrics" , Elsevier Oxford.
11. Mead and M. Riley, Ives (1971) "Handbook of Plastic test Methods", Butter Worth Group.
12. Dov Sherman and David Brandon, (1999) "Advanced Engineering Materials", 1, 3-4, John Wiley Inter Science, December.

جدول رقم (1) يوضح قيم معامل يونك المستخرجة بواسطة إختبار الانحناء

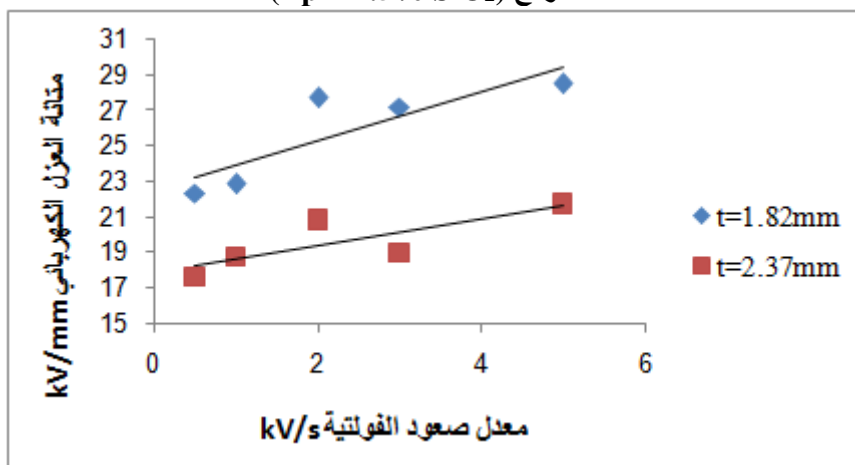
| قيم معامل يونك من الانحناء N/mm^2 | نسبة الإضافة wt% |
|-------------------------------------|------------------|
| 32.696 | 0 |
| 33.404 | 3.75 |
| 34.744 | 7.5 |
| 34.934 | 11.25 |
| 42.755 | 15 |



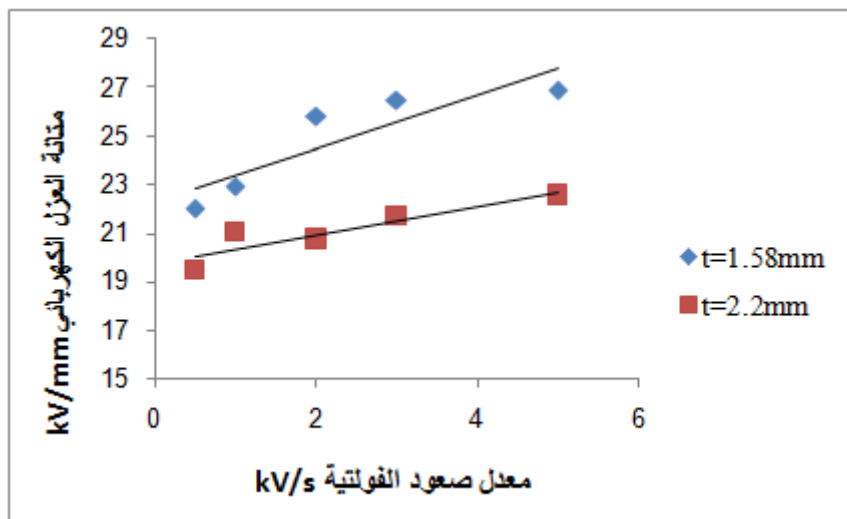
شكل (1) تغير متانة العزل الكهربائي مع معدل صعود الفولتية للنموذج (Ep + 3.75% SiO₂)



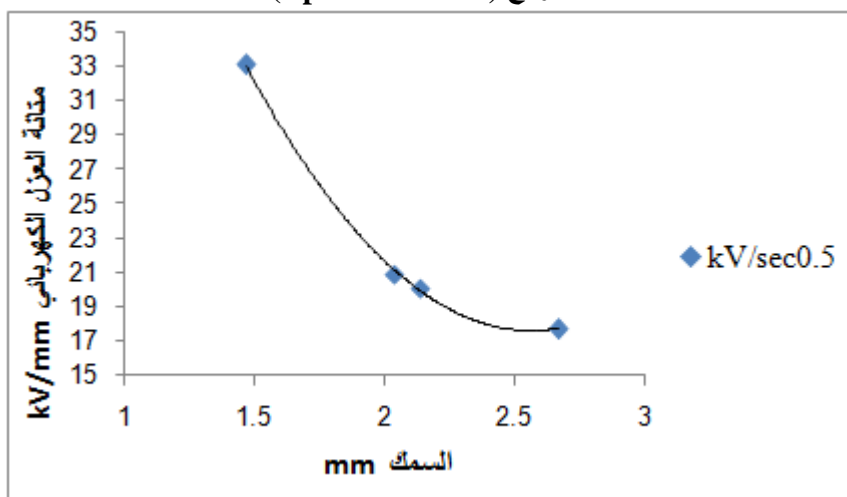
شكل (2) تغير متانة العزل الكهربائي مع معدل صعود الفولتية للنموذج (Ep + 7.5% SiO₂)



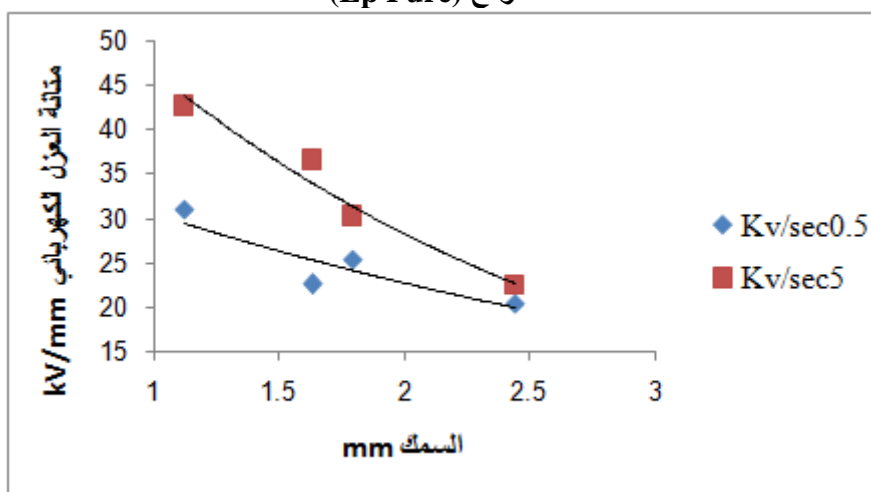
شكل (3) تغير متانة العزل الكهربائي مع معدل صعود الفولتية للنموذج (Ep + 11.25% SiO₂)



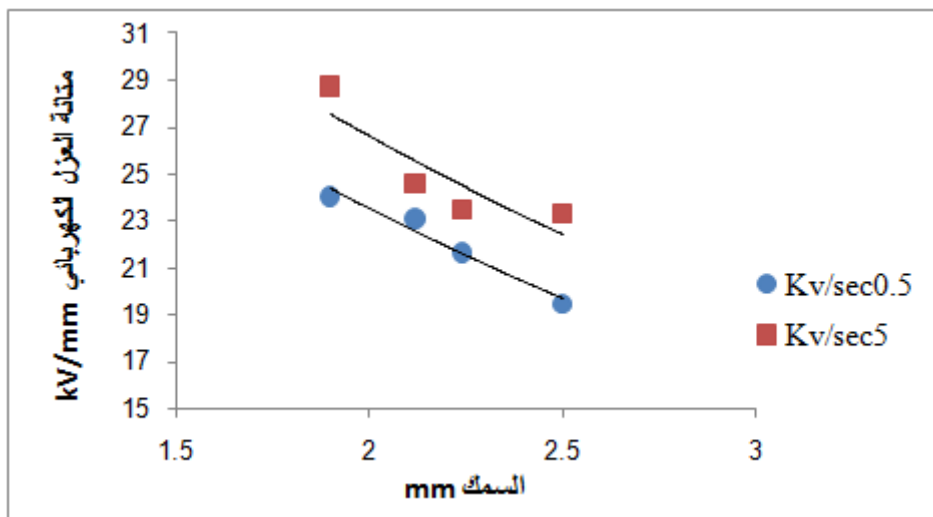
شكل (4) تغير متانة العزل الكهربائي مع معدل صعود الفولتية للنموذج (Ep + 15% SiO₂)



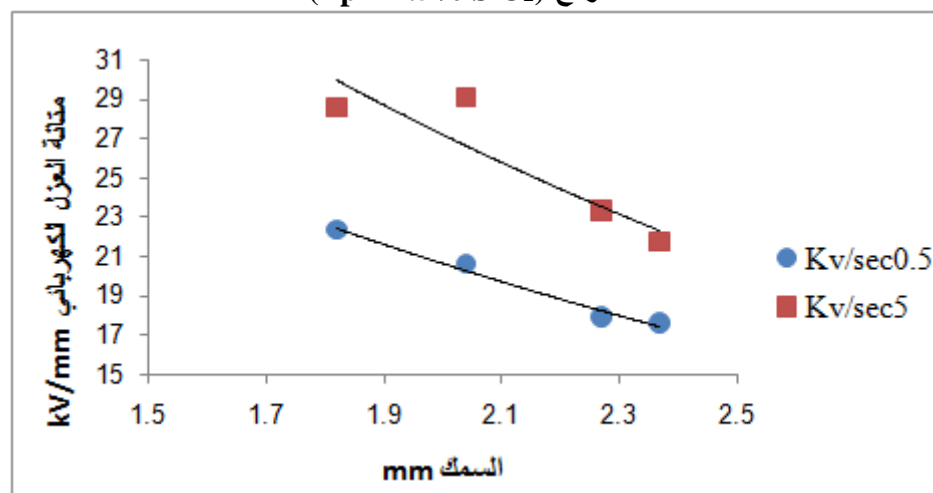
شكل (5) تغير السُمك مع متانة العزل الكهربائي للنموذج (Ep Pure)



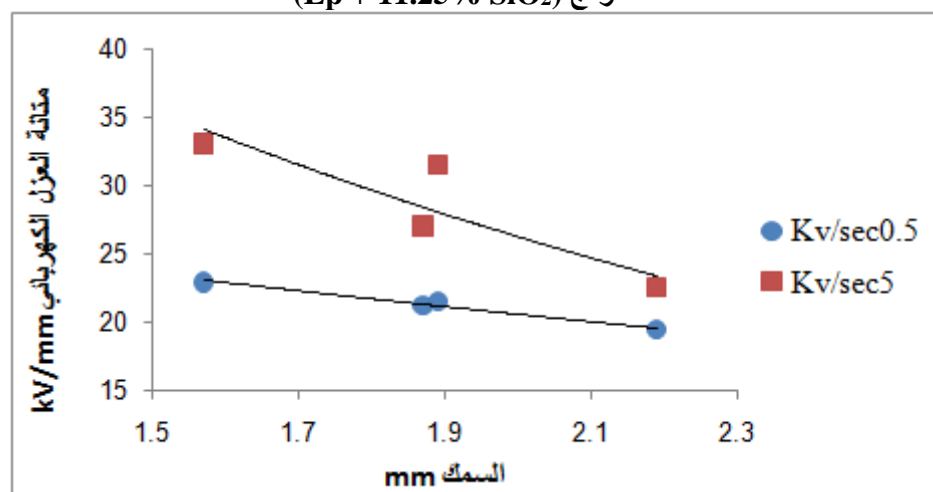
شكل (6) تغير السُمك مع متانة العزل الكهربائي للنموذج (Ep + 3.75% SiO₂)



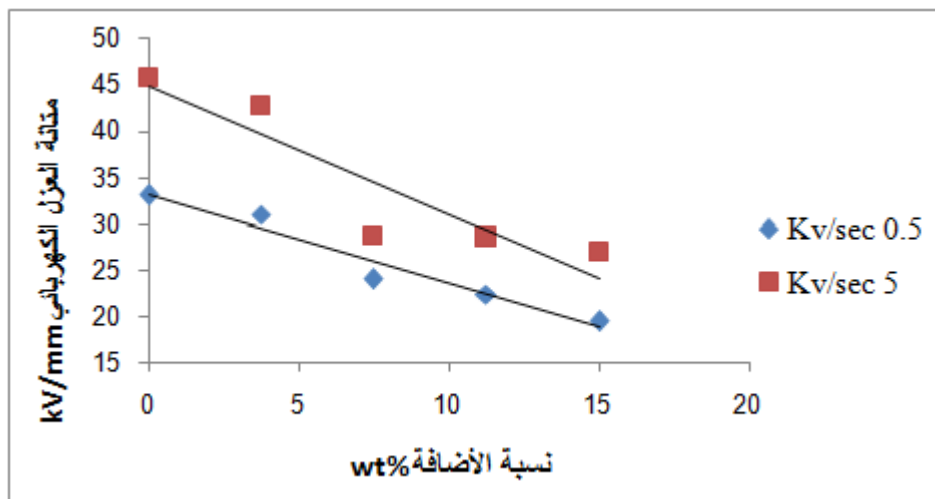
شكل (7) تَغْيِر السُمك مع متانة العزل الكهربائي
لِلنموذج ($Ep + 7.5\% SiO_2$)



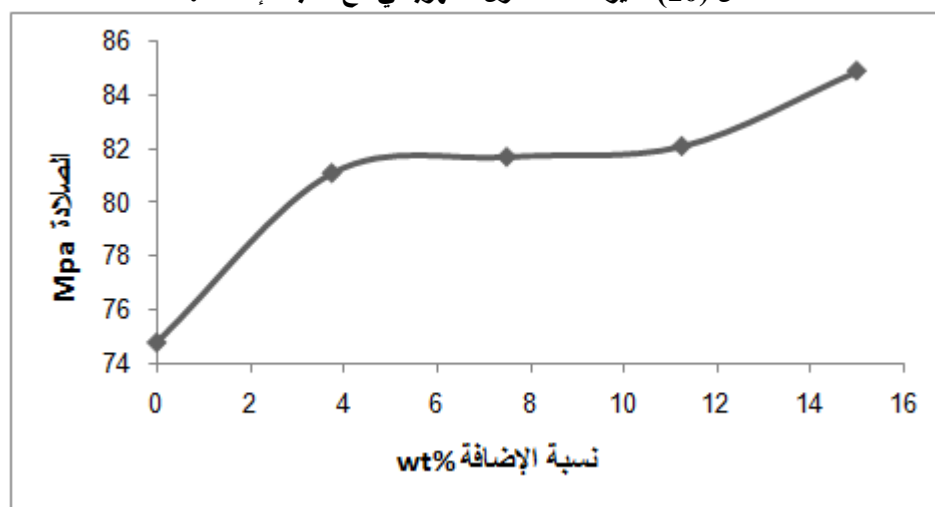
شكل (8) تَغْيِر السُمك مع متانة العزل الكهربائي
لِلنموذج ($Ep + 11.25\% SiO_2$)



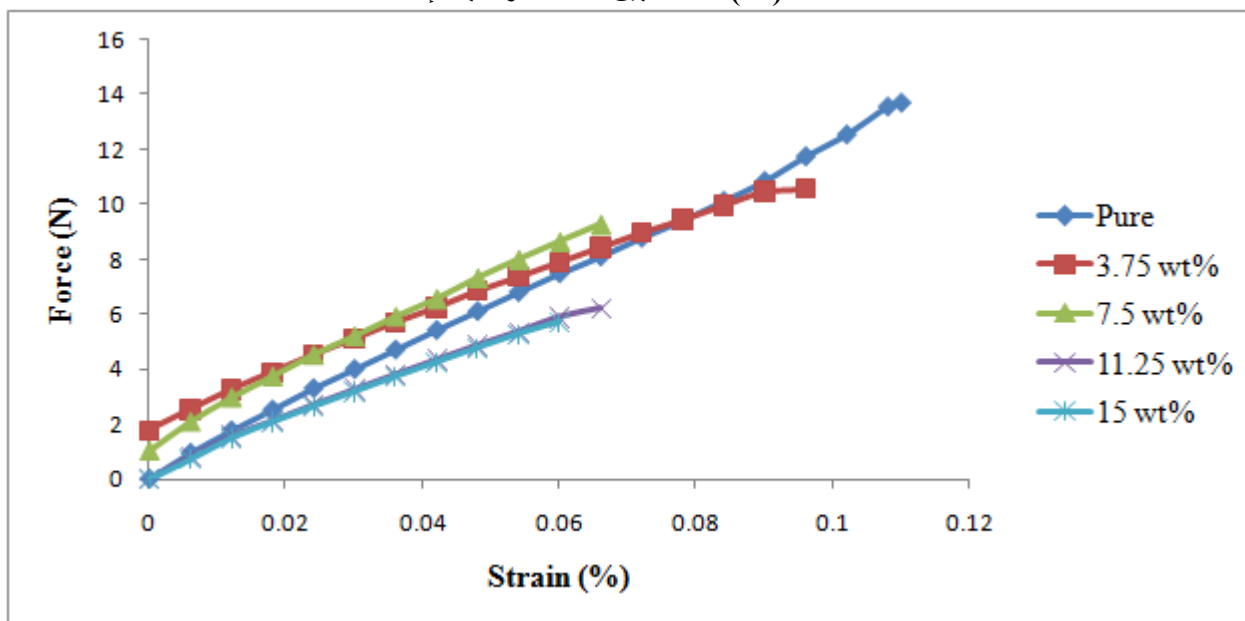
شكل (9) تَغْيِر السُمك مع متانة العزل الكهربائي
لِلنموذج ($Ep + 15\% SiO_2$)

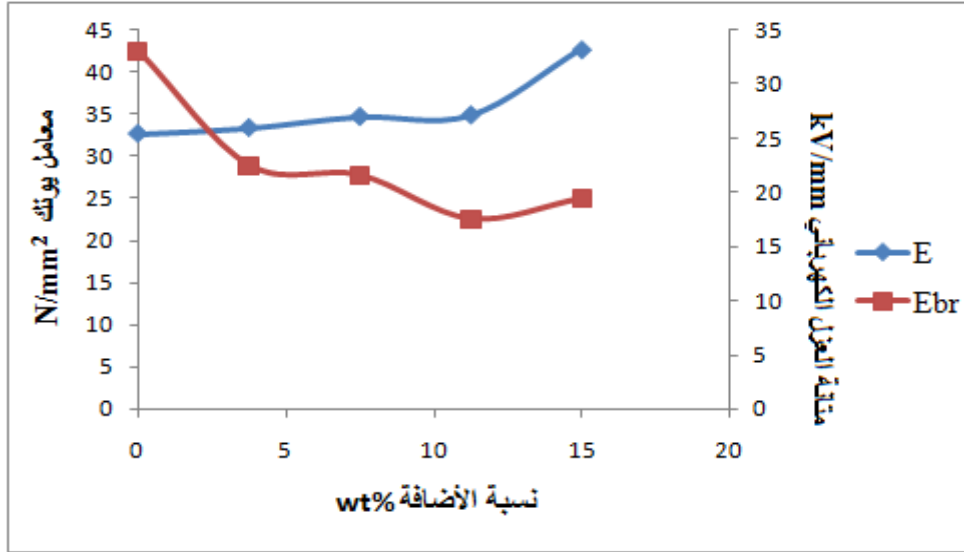


شكل (10) تغير متانة العزل الكهربائي مع نسبة الإضافة.

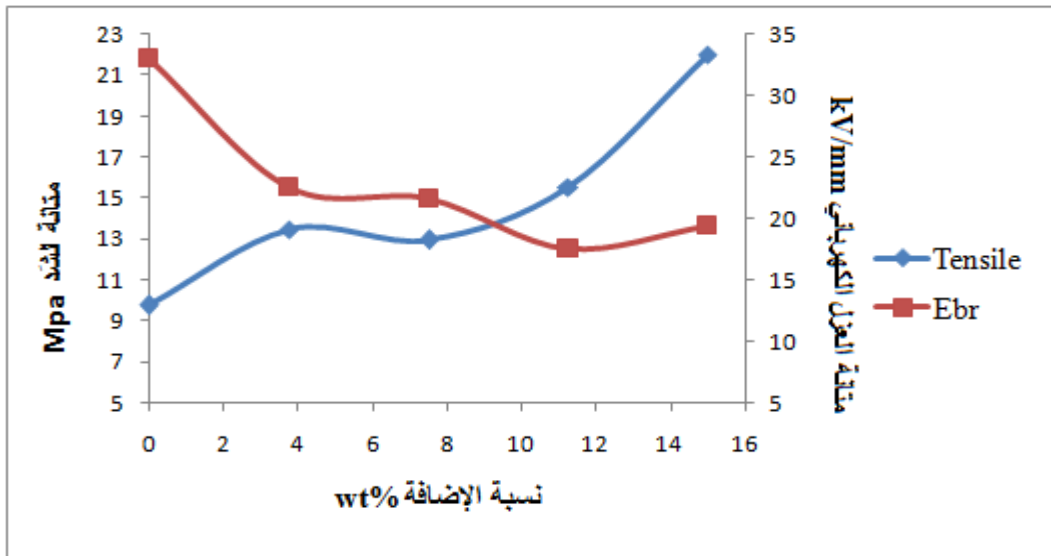


شكل (11) العلاقة بين الصلادة ونسبة الإضافة

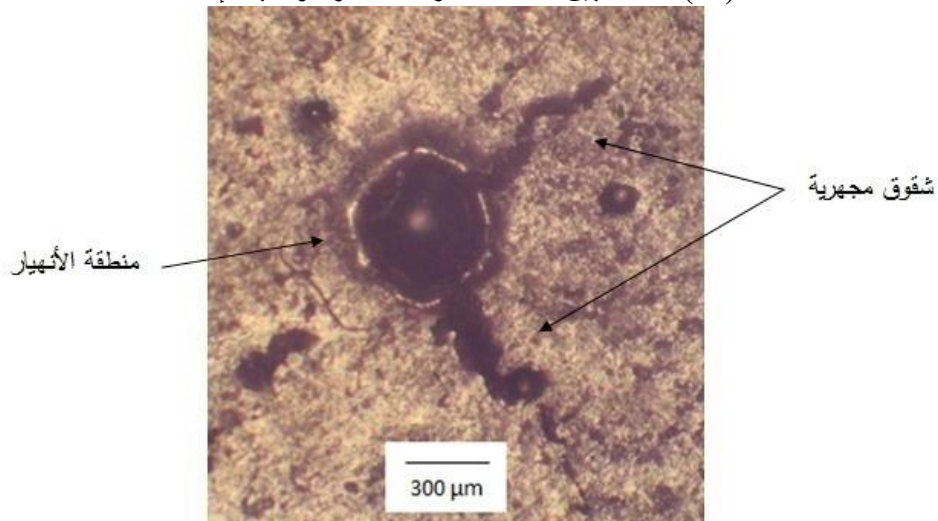
شكل (12) يوضح منحنى الحمل - استطالة في حالة الانحناء
لنماذج الايبوكسي المضاف اليها نسب وزنية مختلفة من السيليكا

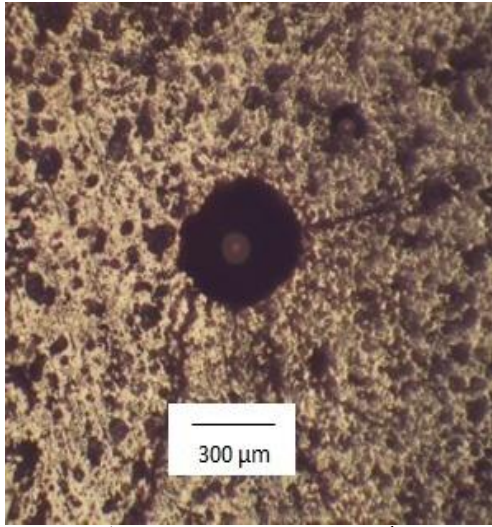


شكل (13) العلاقة بين معامل يونك و متانة العزل ونسبة الإضافة

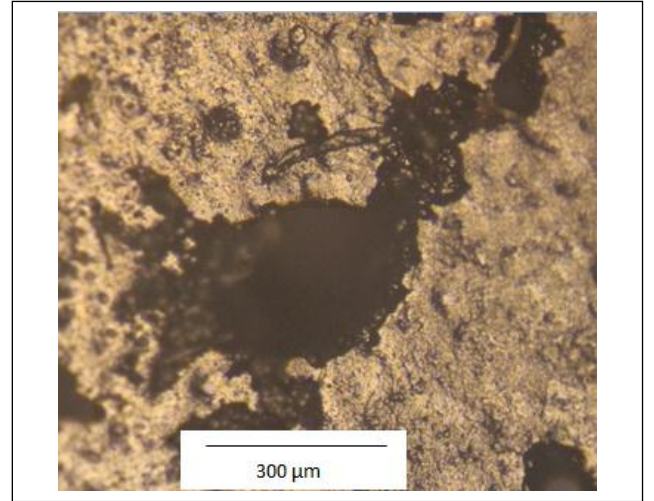


شكل (14) العلاقة بين متانة الشد و متانة العزل ونسبة الإضافة

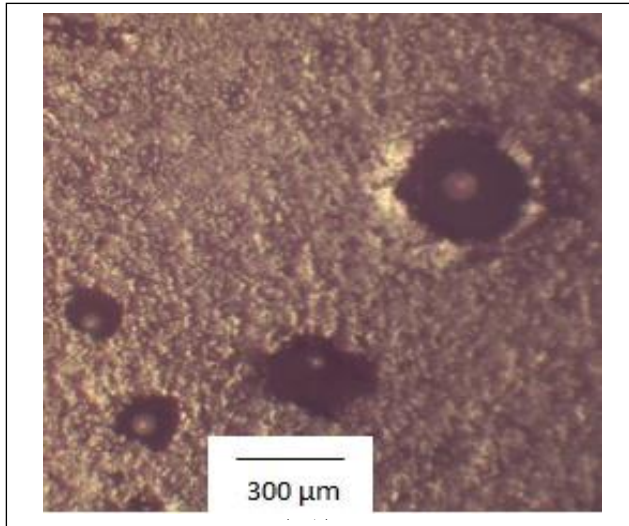
شكل (15) أثر الأنهيار الكهربائي والشقوق المجهرية للنموذج (15% SiO₂, t=1.58mm) بقوة تكبير (40X)



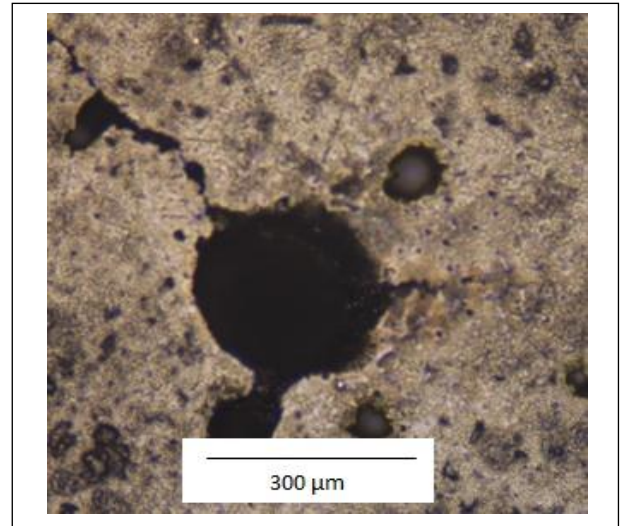
شكل (17) أثر الانهيار الكهربائي للنموذج
(15% SiO₂, t=1.9mm) بقوة تكبير (40X)



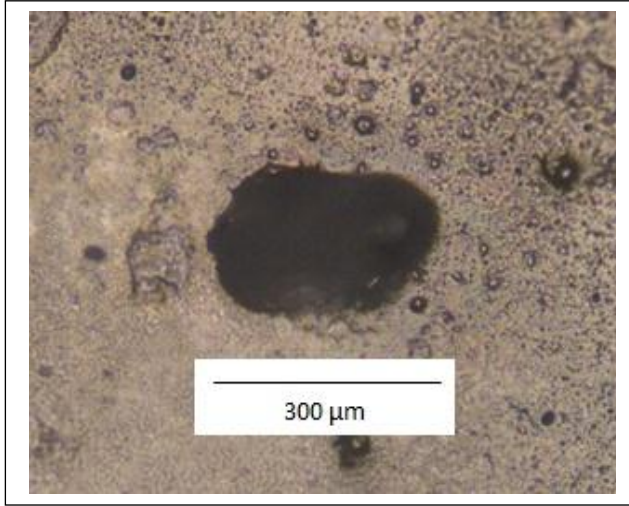
شكل (16) أثر الانهيار الكهربائي عند أنهيارات متعددة النموذج
(15% SiO₂, t=1.58mm) بقوة تكبير (100X)



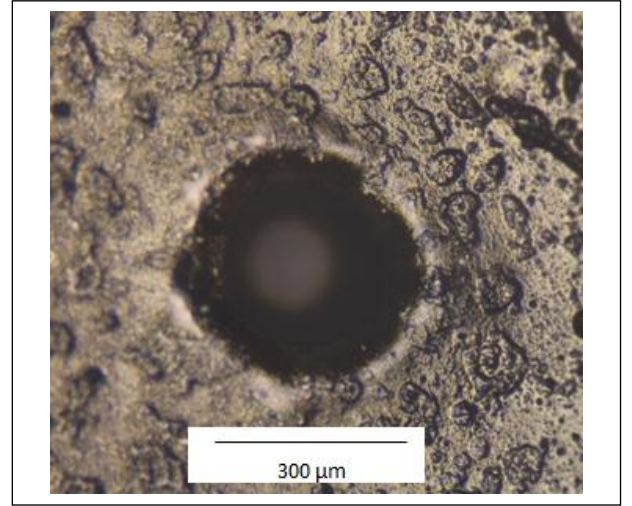
شكل (19) أثر الانهيار الكهربائي للنموذج
(15 % sio, t=1.9mm) بقوة تكبير (40x)



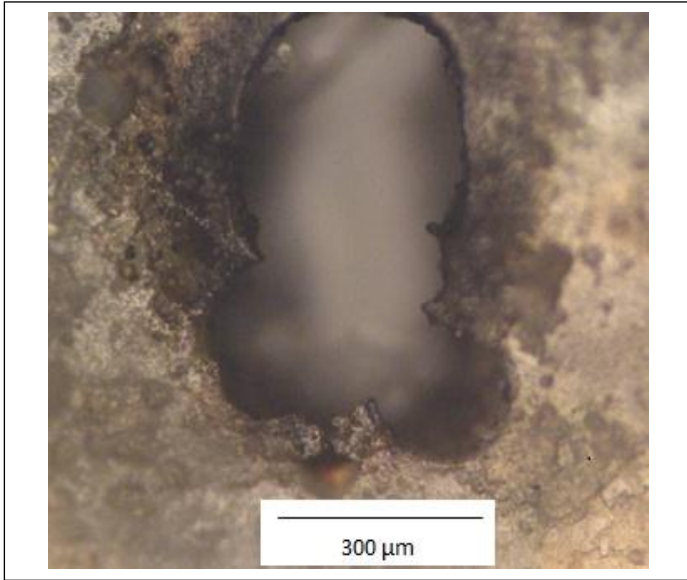
شكل (18) أثر الانهيار الكهربائي للنموذج
(15% SiO₂, t=2.2mm) بقوة تكبير (100x)



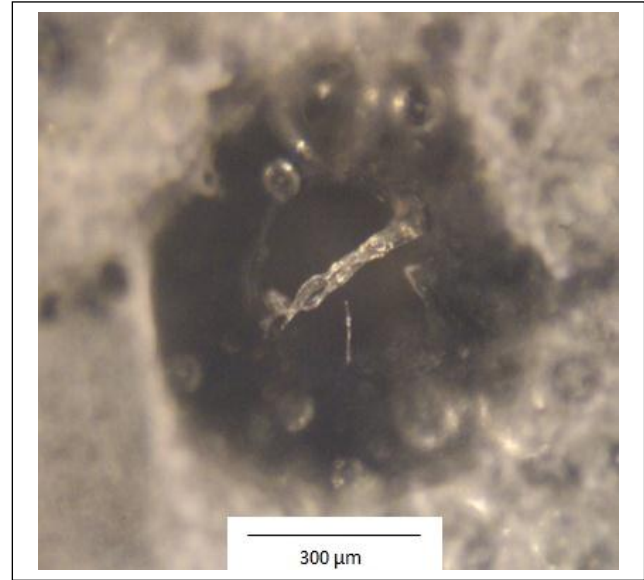
شكل (21) أثر الانهيار الكهربائي للنموذج
(11.25% SiO₂, t=2.27mm) بقوة تكبير (100X)



شكل (20) أثر الانهيار الكهربائي للنموذج
(15% SiO₂, t=1.9mm) بقوة تكبير (100x)



شكل (23) أثر الانهيار الكهربائي للنموذج
(3.75% SiO₂, t=1.8mm) بقوة تكبير (100X)



شكل (22) أثر الانهيار الكهربائي للنموذج
(11.25% SiO₂, t=1.82mm) بقوة تكبير (100x)



شكل (24) أثر الانهيار الكهربائي للنموذج (Ep, t=1.5mm) بقوة تكبير (100X)

Study the Electromechanical Strength Properties for Epoxy Dispersed Silica Powder Composite

Shihab A. Zaidan

Amani Z. Mohammed

Dept. of Applied Science /University of Technology

Received in :6/October/2016, Accepted in :7/November/2016

Abstract

Powder Silica (SiO_2) was added to epoxy polymer with different weight percentages (3.75,7.5,11.25 and 15 wt%) for particle size $\leq 63 \mu\text{m}$. Hand lay-up method it is used to prepared (Epoxy-Silica) composite, and cutting appropriate specimens for testing. Electrical strength varies nonlinearly with specimens thickness, also decreasing with average time for the rise of voltage decreases due to electro thermal effects. Clearly, electrical strength decreases with the increase of the proportion of added silica. The hardness, tensile strength and young modulus increased with the added silica increases due to changing in material characteristics from ductility to brittle. Microscopic cracks and irregularity deformation were appeared within electrical breakdown area, especially for high silica additives. While, fusion, perforation and regularity of electrical breakdown area were appeared for specimens with low and without silica additives.

Key Words: Composite Materials, Epoxy, Silica, Dielectric Strength, Young's Modulus, Hardness.