

دراسة بعض خصائص العوالق السيراميكية المستخدمة في تحضير العوازل بطريقة الصب الأنزلاقي

إعداد

إيناس محي هادي

الجامعة التكنولوجية – قسم العلوم التطبيقية

علم المواد

تقديم البحث : 2009/7/15

قبول نشر البحث : 2009/11/1

الخلاصة :

تضمن البحث دراسة (الحامضية ، التوصيلية الكهربائية) لعوالق سيراميكية محضرة من الكاولين العراقي مضاف له الكاولين العراقي المحروق بنسب وزنية مختلفة (10% , 20% , 30% , 40% , 50%) بعد ذلك حضرت نماذج عوازل سيراميكية بطريقة الصب الأنزلاقي ثم درست فولتية الانهيار لها ، من النتائج اتضح لنا ان النماذج ذات فولتية انهيار جيدة وتزداد مع زيادة نسبة الكاولين المحروق المضافة ، وبذلك نجحنا بتحضير عوازل سيراميكية بطريقة الصب الأنزلاقي .

Studied Some properties of Ceramics slip which used to prepared Dielectrics By Slip Casting

Enass Mohy Hadi

University of Technology

Applied Science Department

Material Science

Abstract :

In this research studied some properties as (Acidity , Electrical Conductivity) for Ceramics slip from Iraqi kaolin with Burn Iraqi kaolin add to (10% , 20% , 30% , 40% , 50%).

Then prepared ceramics Dielectric By slip Casting then Breakdown Dielectrics was studied , the result shown that the samples had agood Breakdown Volteg and shown increasing In the Breakdown Volteg By adding the Burn kaolin , So we prepared agood Dielectrics By Slip Casting Successfully

المقدمة :-

تعتمد الصناعة على عدة عوامل اهمها عامل المادة الخام فكلما كانت اقل كلفة واكثر وفرة كلما حصلنا على صناعة انجح ، كما ان لطريقة التصنيع وخطوات العمل دور مهم في الكلفة النهائية للمنتجات المصنعة ، لذا ظهرت حاجة ملحة لتوفير بدائل للمواد المستوردة ذات الكلفة العالية .

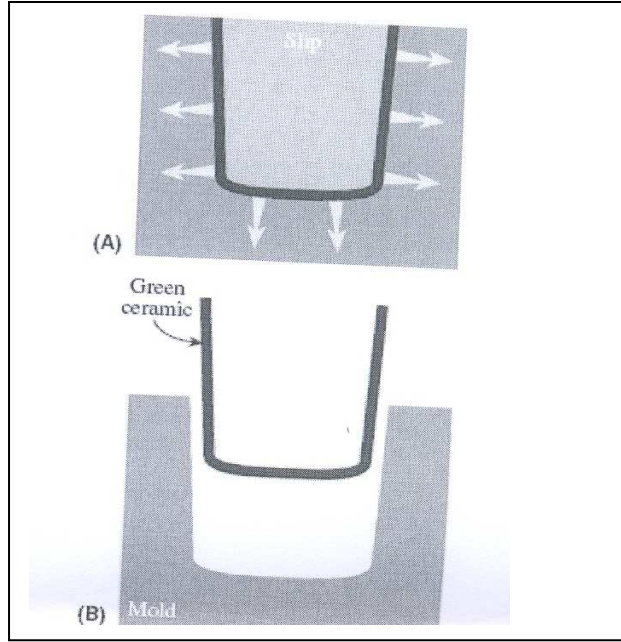
ولو اخذنا الصناعات السيراميكية تحديدا نجد ان للكاؤولين العراقي دور مهم في تغطية مجال واسع من الصناعات الكهربائية وتحديدا صناعة العوازل للمنظومات الكهربائية وعوازل الألكترونيات الدقيقة ذات الجهد العالي .

وقد عملت بحوث عديدة على دراسة خام الكاؤولين العراقي كبديل للكاؤولينايت وتحسين خواصه [2] [1] الميكانيكية والكهربائية عن طريق اضافة خامات سيراميكية مختلفة في البحوث السابقة حضرت نماذج العوازل بواسطة الكبس الجاف أو الكبس شبه الجاف أما في عملنا الحالي فقد قمنا بتحضير نماذج عوازل سيراميكية بطريقة الصب الانزلاقي لتوفير نماذج مجوفة وغير منتظمة الأبعاد ، ولذا كان من الضروري دراسة خواص العوازل المحضرة أولا إذ درسنا الحامضية والتوصيلية الكهربائية لها ثم متانة العزل للمنتج السيراميكي النهائي قبل وبعد عملية الحرق .

الجزء النظري :

• الصب الانزلاقي Slip Casting :-

ان رمي المساحيق السيراميكية يمكن ان يتم بعدة طرق للحصول على اشكال مختلفة لقطع سيراميكية عالية الكثافة قبل عملية التليد النهائية .
واحدة من الطرق الشائعة هي ازالة الماء من عالق مائي مركز لمسحوق سيراميكي باستخدام مادة ماصة كقالب الجبس (Plaster of Paris) مثلا" ، حيث تنسحب دقائق المسحوق الى بعضها البعض بواسطة قوى الشد السطحي عندما يمتص الماء مكونة طبقة متراسة من الدقائق على سطح القالب ، ان تماسك الدقائق مع بعضها البعض يكون بقوى كافية لتسمح بمناقلة النموذج المشكل لأكمال مراحل التصنيع [3][4][5].



[5] شكل (1) عملية الصب الانزلاقي

تعرف هذه الطريقة بالصب الأنزلاقي (Slip Casting) وهي أهم الطرق المعتمدة لتصنيع مواد سيراميكية ذات اشكال مجوفة او غير منتظمة . إذ إن طرق تصنيع وتصميم العوازل السيراميكية غير المنتظمة والمجوفة وذات الأشكال المعقدة تعد موضوع للبحث بشكل مستمر يتطور ويتغير مع التطور العلمي والصناعي ليوفر تصاميم ملائمة لتطبيقات خاصة [6][5][4] .

ان جودة عملية الصب الانزلاقي والمنتجات النهائية تعتمد على عاملين اساسيين هما : القالب المستخدم (المادة الماصة) والعالق السيراميكي .

فيما يخص العامل الاول عمل مجموعة باحثين على تغطية الموضوع نظريا عن طريق وضع العلاقات الرياضية لحساب ضغط الامتصاص الشعري المتولد في مسامات القالب والذي يعمل على سحب الماء عبر القالب وترسيب طبقة او عدة طبقات من الدقائق السيراميكية على السطح الداخلي وكانت قيمة الضغط تتراوح بين $(0.1 - 0.2) \text{MPa}$ [5] .

اما العامل الثاني فهو العالق السيراميكي ويتكون من :

1. الماء .
2. مسحوق سيراميكي ناعم .
3. المادة المشتتة .

يجب ان تحصل عملية تبادل ايوني بين دقائق المادة السيراميكية والمادة المشتتة المضافة في الماء ، إذ تشحن جميع الدقائق بشحنة متشابهة مما يولد حالة تنافر بين الدقائق وبذلك تنتشتت في الماء بشكل منتظم وتحسب الفولتية المتولدة داخل المحلول الالكتروني الناشئ في منظومة العالق السيراميكي بوجود عملية التبادل الايوني من العلاقة التالية [6] .

$$\beta = (4\pi d\sigma/D) \quad (1)$$

حيث ان :

- σ : مقدار الشحنة لوحدة المساحة للدقائق السيراميكية .
- d :المسافة الفاصلة بين الشحنة الموجبة والسالبة .
- D :ثابت العزل الكهربائي للسائل المستخدم (الماء) .

في منظومة (الطين - ماء) يتولد جهد بيتا بوجود المادة المشتتة مباشرة ولتعميم حالة منظومة (الطين - ماء) عمل عدة باحثين على دراسة منظومات مختلفة تتكون من اكاسيد منفردة أو فلوريدات مختلفة مع الماء ومواد مشتتة لجعل عملية الصب الانزلاقي عامة تشمل المواد السيراميكية المختلفة ولا تخص الأطين فقط [6][7] .

وتناولت بحوث اخرى الموضوع من جانب اخر اذ درست لزوجة وهلامية العالق وبقية خواصه بشكل عام لتحديد مواصفات العالق المثالي ، وغيرت في ظروف عملية الصب الانزلاقي من حيث زمن ودرجة حرارة عملية الصب [8][9] .

ويمتاز العالق المثالي بعدة خصائص هي :

1. يجب ان يكون عالي التركيز لمسحوق المادة السيراميكية الناعم .
2. يكون العالق ذي لزوجة قليلة (Low Viscosity) .
3. يكون العالق ذي جريان مناسبة (Fluidity) لتوفير إمكانية صب العالق وسهولة تحريكه .

ويمكن حساب تركيز المادة السيراميكية العالقة في العالق من علاقة بروكتر نظريا" كما يلي [3] .

$$W = \frac{(P - A) S}{S-1} \quad (2)$$

حيث ان :

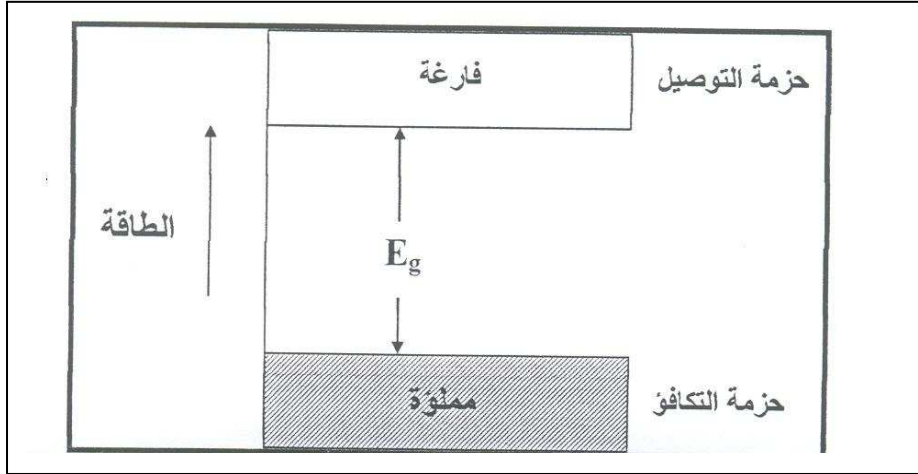
- P : وزن العالق الكلي .
- A : وزن الماء المقابل لنفس حجم العالق .
- S : الوزن النوعي لمسحوق المادة السيراميكية (المادة الجافة) .

لو ترك محلول العالق دون تحريك فان دقائق المادة السيراميكية سترسب في القعر بعد فترة مكونة راسب غير متجانس الكثافة فيه تراكمات منفصلة يعطي نماذج سيراميكية ذات تراص ضعيف وتحصل هذه الحالة اذا كانت القوى بين الدقائق هي قوى تجاذب (Flocculated) .

وعلى العكس فان الراسب يكون متجانس الخواص ولايحتوي على تراكمات غير منتظمة ، كما ان نسبة لابس بها من المادة السيراميكية تبقى مشتتة بشكل عالق عندما تكون القوى بين الدقائق قوى تنافر (Deflocculated) لذا تضاف المادة المشتتة لتعمل على توفير قوى تنافر بين الدقائق في العالق السيراميكي لنحصل على نماذج نهائية منتظمة وذات تراص وخواص جيدة ومنتظمة [3] .

• العوازل Dielectrics:

تمتلك الكثير من المواد مثل السيراميك وغيرها الكترولونات تكافؤ مرتبطة بشدة مع نوى ذراتها ، لذلك في غياب الالكترولونات الحرة تكون التوصيلية ضعيفة جدا ، وبموجب نظرية حزم الطاقة للمواد الصلبة فان حزمة التكافؤ تكون مملوءة تماما في درجة الصفر المطلق ، كما توجد فجوة طاقة كبيرة بين حزمة التكافؤ وحزمة التوصيل وكما هو موضح في الشكل التالي [10] .



شكل (2) حزم الطاقة لمادة عازلة في درجة حرارة الصفر [10].

إن سمك (فرق الطاقة) هذه الفجوة قد يكون (10 ev) فأكثر ، حيث انه حتى لو تم تسليط مجال كهربائي فان الالكترولونات لا تتحرك بعدد كبير باتجاه واحد ، فكل الكترولون يتحرك باتجاه معين يعاكسه الكترولون آخر ، مثل هذه المواد تسمى بالعوازل ، إن فجوات الطاقة للعوازل تختلف من مادة إلى أخرى ، وبصورة عامة فان أي مادة فيها منطقة مصنوعة سمكها يساوي أكثر من (60 v) تكون عازلة [10] .

• الأنهييار في العوازل الكهربائية الصلبة Breakdown in Solids Dielectrics

يعرف انهيار العازل بأنه فقدان العازل لخاصية العزل الكهربائي وتحوله إلى موصل ، ويسمى أقصى مجال كهربائي مسلط على العازل والذي عنده يحصل الانهييار بمتانة العازل (Dielectric Strength) [11]

وتقاس متانة العزل الكهربائي بدلالة المجال الكهربائي (E_{br}) وهو يمثل المجال الذي عنده ينهار او يفشل العازل ويحسب من العلاقة التالية [12] [13].

$$E_{br} = U_{br} / h \quad \dots\dots\dots (3)$$

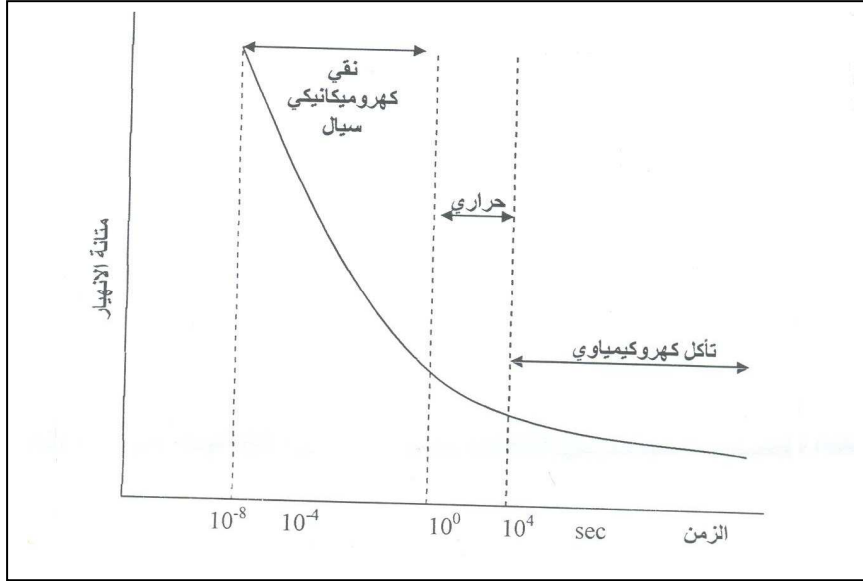
حيث ان :

U_{br} : يمثل أقصى فولتية مطبقة على العازل .

h : سمك المادة العازلة .

وتقاس متانة العزل الكهربائي بوحدات (kv/cm) أو (kv/mm) [14] [15].

وهناك عدة ميكانيكيات تفسر انهيار العازل الصلب وتتغير بتغير زمن تسليط الفولتية وكما هو موضح في الشكل التالي [12] .



شكل (3) تغير شدة الانهيار مع زمن الاجهاد (تسليط الفولتية)

وفيما يلي توضيح مبسط لمفهوم ميكانيكيات الأنهيار :

1. الأنهيار الذاتي (النقي) Intrinsic Breakdown:

تحت تأثير الفولتية المسلطة تتمكن مجموعة الكترونات من اكتساب الطاقة الكافية والانتقال من حزمة التكافؤ الى حزمة التوصيل وبإهمال بقية التأثيرات يبقى تأثير كل من الفولتية المسلطة ودرجة الحرارة الناتجة في العازل الصلب ، يحصل هذا الأنهيار خلال ازمان بحدود (10^{-8}) sec [13] .

2. الأنهيار الكهروميكانيكي Electromechanical B:

اثناء تسليط الفولتية على العازل فان الاقطاب المتصلة بسطح العينة سوف تسلط قوة ضاغطة على العينة بواسطة جاذبية كولوم المتبادلة للاقطاب ، واذا كان هذا كافيا لاحداث تشوهات في المجالات تحت قيمة الانهيار النقية فان متانة العزل الكهربائي سوف تقل [13].

3. انهيار السيلام Streamer Breakdown:

تحت ظروف خاصة جدا" ومسيطر عليها ، تتمثل بمجالات مسلطة منتظمة واقطاب مغمورة كلياً" في العينة يمكن ان يكتمل الأنهيار بعد مرور هيار احادي (ava-Ianche single) .
اذ ان الالكترود الداخلي الى حزمة التوصيل للعازل عند المهبط سوف ينحرف نحو المصعد تحت تأثير الطاقة المكتسبة من المجال ويحصل الأنهيار متى ما تجاوز الهيار ابعاد حجم حرج معين [13] .

4. الأنهيار الحراري Thermal Breakdown:

عند تسليط مجال كهربائي على عازل صلب في درجة حرارة الغرفة فان تيار توصيلي سيولد حرارة في العازل ، تزداد بشكل متسارع ، وفي كل نقطة في العازل ستتولد حرارة ويتم التخلص منها ، إما اذا كانت الحرارة المتولدة اكبر من الحرارة المنبعثة تحصل حالة عدم استقرار حراري وينهار العازل بسبب عدم إمكانية تحقيق قانون حفظ الطاقة [13] .

5. انهيار التآكل Erosion Breakdown :

كل منظومات العزل الصلبة تحوي فجوات وفراغات عادة" مملوءة بوسط مختلف عن العازل (سائل او غاز) وهي دائماً" ذات شدة انهيار اقل من العازل ، وذات ثابت عزل اقل منه للعازل لذا فان الأنهيار يحصل في الفجوات والفراغات اولاً" ثم ينهار العازل كلياً" [13] .

درس العديد من الباحثين متانة العزل الكهربائي للكاولين العراقي بعد اضافة عدة اضافات لتحسين خواصه النهائية فقد قام الباحث الموسي ، احمد زيد عبيد ، بدراسة مدى تحمل نماذج محضرة من كاولين دويخلة المكلسن وبورسلينات السلامية ورمل زجاج ارضية وفلدسبار الصوديوم وفلدسبار البوتاسيوم ويخاطات مختلفة وبنسب وزنية مختلفة ، للجهد الكهربائي المسلط عليها ودرس تأثير درجة حرارة الحرق على متانة العزل ، وجد حصول زيادة في متانة العزل مع درجة حرارة الحرق [16] .

اما الباحثة صلاح ، زهراء احمد ، فقد درست تأثير اضافة الفلدسبار على (الكاولين + الفلنت) وبنسب وزنية % (40 - 30) ، لاحظت حصول زيادة في متانة العزل مع زيادة نسبة الفلدسبار المضافة بسبب نقصان المسامية وتقارب الحبيبات من بعضها البعض [17] .
و درست بحوث اخرى متانة العزل الكهربائي لخلطات اكاسيد سيراميكية واضافات اخرى او بدونها مثل الفلدسبار او الزجاج او الكاولين العراقي [18][19] .

الجزء العملي

المواد المستخدمة :-

استخدام خام الكاولين العراقي المأخوذ من منطقة دويخلة في المنطقة الغربية وبالنسب الوزنية الموضحة في الجدول التالي .

جدول (1) النسب الوزنية لخام الكاولين المستخدم .

L.O.I	SiO ₂	AL ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O ₃	K ₂ O
12.42	47.34	36.37	0.63	2.2	2.02	2.08	0.31	0.53

تم توفير الكاولين بشكل مسحوق ناعم ليناسب عملية الصب الأنزلاقي لايتجاوز حجم الدقائق m_{μ} (100) جفف المسحوق جيدا للتخلص من الرطوبة والتكتلات ، حيث تم حرق جزء من الكاولين بدرجة حرارة C^0 (1000) وذلك لتوفير الكاولين المحروق يحمل الكاولين المحروق على تحسين خواص المنتج النهائي إذ يتكون من طوري المولايت والكرستوبلايت وكما هو موضح في المعادلة التالية إذ يتحول فيها



تم تحضير العالق السيراميكي لعدة خلطات من خام الكاولين والكاولين المحروق وبالنسب الموضحة في الجدول التالي :-

جدول (2) الخلطات المستخدمة في البحث .

الأوزان (gm)		النسب الوزنية		
كاولين محروق	كاولين غير محروق	كاولين محروق	كاولين غير محروق	ت
0	20	% 0	% 100	1
2	18	% 10	% 90	2
4	16	% 20	% 80	3
6	14	% 30	% 70	4
8	12	% 40	% 60	5
10	10	% 50	% 50	6

أضيفت كمية من الماء إلى الخلطات وخمس قطرات من المادة المشتتة (سليكات الصوديوم) تم تحريك العالق جيدا ولفترة كافية للحصول على تجانس وتشبيت للدقائق، ثم ترك العالق في الثلاجة لمدة (24) ساعة ليخمر العالق .

خواص العالق :-

- بعد تحضير العوالق السيراميكية درسنا بعض خواصها :-
- **قياس الحمضية :-** يمكن قياس الحمضية لاي عالق سيراميكي وبدقة عالية باستخدام جهاز قياس الحمضية ، وتقسّم المحاليل الى حامضية وقاعدية ومتعادلة . استخدمنا جهاز (PH meter) لقياس حامضية العالق ونحصل على القراءة بشكل رقمي مباشر .
- **قياس التوصيلية الكهربائية :-** من الضروري معرفة التوصيلية الكهربائية للعوالق السيراميكية المستخدمة في صب النماذج عوازل سيراميكية لتكوين فكرة عن خواص المنتج النهائية ، يعتمد قياس التوصيلية الكهربائية على حساب المقاومة الكهربائية للعالق وفق العلاقات الرياضية التالية .

$$\rho R = \dots\dots\dots (3) \quad * \quad L / A$$

حيث ان:

R : المقاومة .

ρ : المقاومة .

L : المسافة بين الاقطاب .

A : المساحة السطحية للانبوبة التي تحتوي العالق .

$$R = V / I \quad \dots\dots\dots (4)$$

حيث ان :

V: الجهد الكهربائي المسلط .

I: التيار المار .

من العلاقة (4) تحسب قيمة المقاومة وتعوض في العلاقة (3) بعد حساب المقاومة نحسب التوصيلية من العلاقة التالية .

$$1 / \rho \sigma = (5) \dots\dots\dots$$

تحضير النماذج :-

بعد تخمير العالق قمنا بخلاطة جيدا ليتجانس ومن ثم صب العالق في القالب الجبسي المجوف ترك العالق لفترة حتى تترسب طبقة من المسحوق على الجدران الداخلية للقالب ، ثم يزال السائل الزائد من القالب ويترك ليحجف النموذج جيدا و ثم يُستخرج و ثم تُستخرج من القالب بعد ذلك نجري عملية تلييد للنموذج عند درجة حرارة (1100 C⁰) ولمدة (4) ساعات .

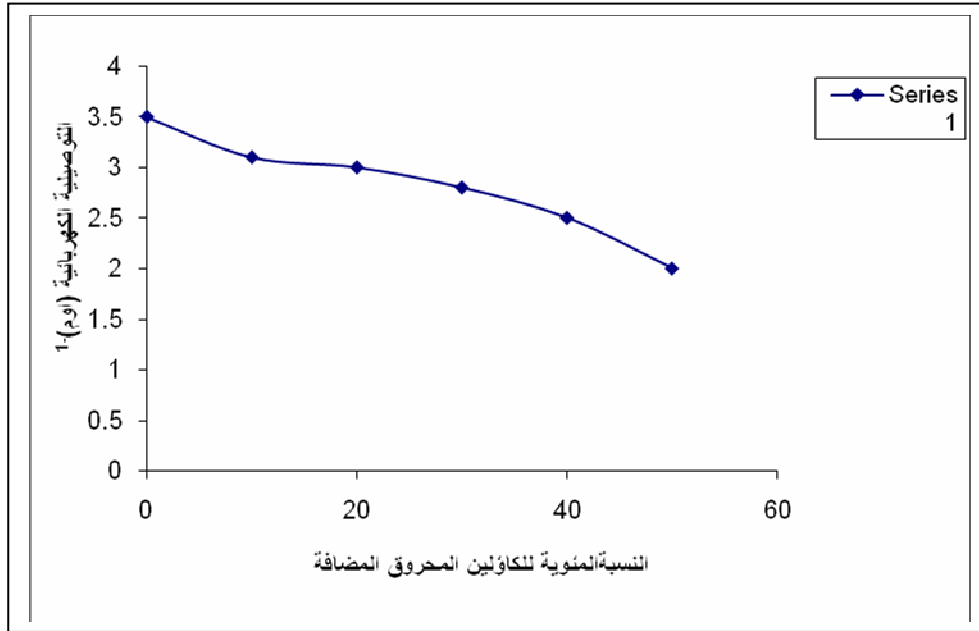
● قياس متانة العزل الكهربائي :-

اجري اختبار متانة العزل الكهربائي لكل النماذج المحضرة ، حضرت النماذج بشكل مثالي لتكون خالية قدر الإمكان من المسامات والشقوق لتلافي تأثيرها السلبي على النتائج التي نتوصل لها ، تثبت العينة بين أقطاب الجهاز المدببة والمغمورة في الزيت وتسلط فولتية على سطحي العينة إلى أن يحدث انهيار في العازل ويمر تيار خلال العينة وعندها تقاس فولتية الانهيار .

النتائج و المناقشة :-

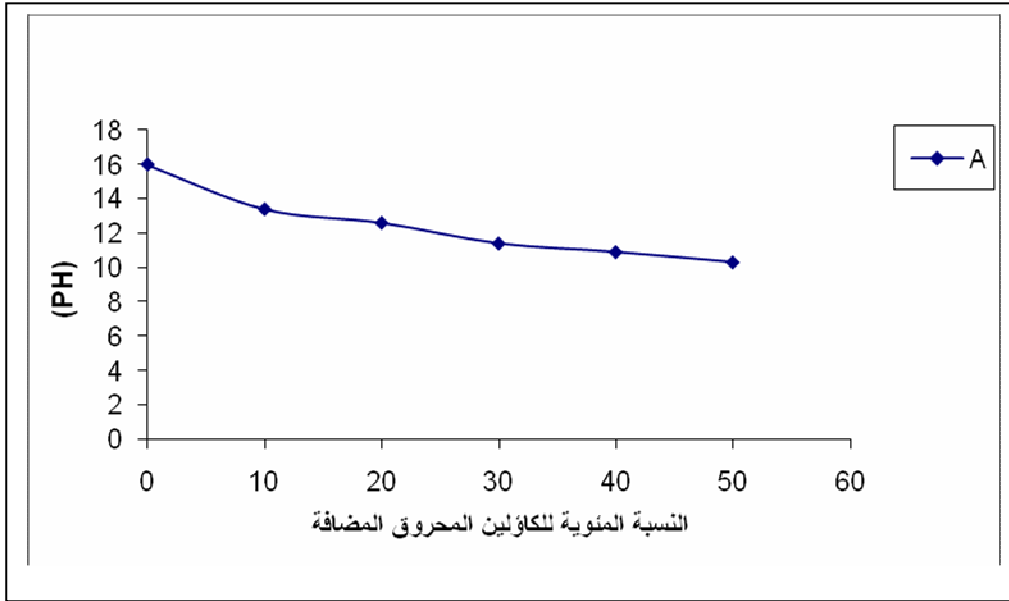
إن النتائج التي تم التوصل لها من دراسة خواص العالق موضحة في الأشكال التالية :-
الشكل (1) يوضح التغير الذي حصل في الحامضية (Ph) للعوالق السيراميكية مع تغير نسبة الكاؤولين المحروق المضافة ، أما الشكل (2) فيوضح تغير التوصيلية الكهربائية للعوالق السيراميكية مع تغير نسبة الكاؤولين المحروق المضافة.

من الشكل (1) يتضح إن العلاقة عكسية بين الحامضية ونسبة الكاؤولين المحروق المضافة أي إن الحامضية تقل مع زيادة نسبة الكاؤولين المحروق المضافة ، وذلك لكون الكاؤولين مادة حامضية أما الكاؤولين المحروق فهو مادة متعادلة بسبب ظهور طور (المولايت) وهو طور متعادل ، مما يؤدي إلى انخفاض حامضية العالق ويتحول العالق تدريجيا إلى محلول متعادل.



شكل (1) تغير التوصيلية الكهربائية مع نسبة الكاولين المضافة.

ومن الشكل (2) يتضح ان العلاقة عكسية ايضا بين التوصيلية الكهربائية ونسبة الكاولين المحروق المضافة أي ان التوصيلية الكهربائية تقل مع زيادة نسبة الكاولين المحروق المضافة ، وذلك لان الكاولين المحروق يحتوي على طور المولاييت والكرستوبلايت لذا فهو خالي من الأيونات الحرة ، كما ان حرق الكاولين يؤدي الى حرق الشوائب مما يعمل ايضا على تقليل الأيونات الحرة في الكاولين المحروق . ان نقصان التوصيلية يعني زيادة في المقاومة الكهربائية أي ان الكاولين وهو عالق يعطي مؤشرات بان المادة الناتجة النهائية ستكون عازل جيد للكهربائية .



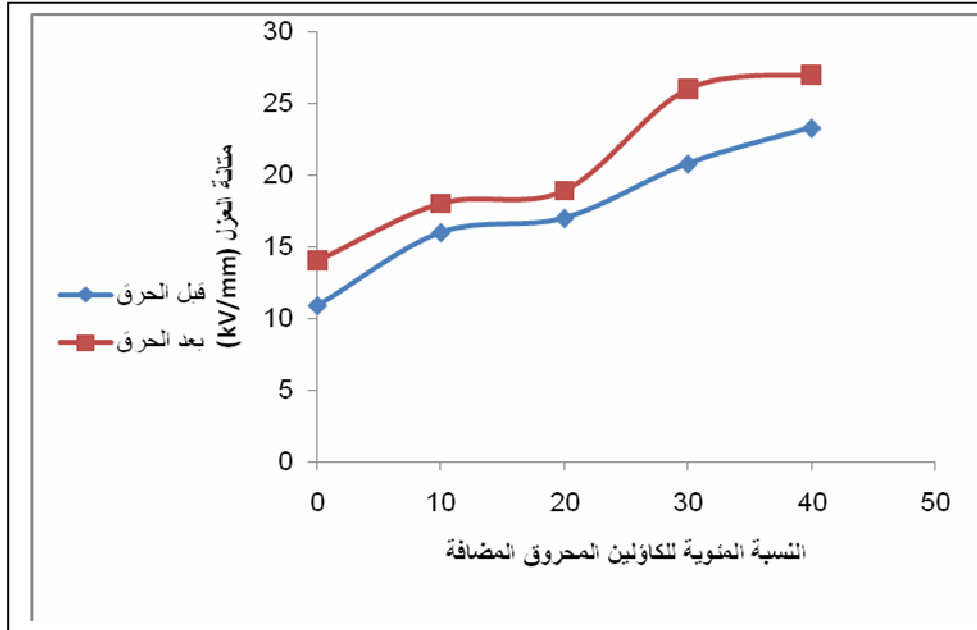
شكل (2) تغير (PH) مع نسبة الكاولين المضافة.

ان النتائج التي تخص متانة العزل الكهربائي لخلطات الكاولين المختلفه موضحة في الجدول التالي:

جدول (3) نتائج متانة العزل الكهربائي

رقم النموذج	سمك النموذج (mm)	اقصى فولتية (KV)	متانة العزل (KV/mm)	سمك النموذج (mm)	اقصى فولتية (KV)	متانة العزل (KV/mm)
بعد الحرق				قبل الحرق		
1	1.1	12	10.9	1	14	14
2	1	16.5	16.5	0.9	17	18
3	1	17	17	0.95	18	18.9
4	1.2	25	20.8	1	26	26
5	1.2	28	23.3	1	27	27

نتائج الجدول (3) موضحة في الشكل (3) اذ يوضح تغير متانة العزل مع نسبة الكاولين المحروق المضافة ، اذ ان زيادة متانة العزل الكهربائي بسبب زيادة نسبة طوري المولايت والكرستوبلايت في النماذج السيراميكية ، كما ان زيادة تماسك النماذج ونقصان المسامية بعد عملية التلبيد تعني زيادة متانة العزل الكهربائي



شكل (3) تغير متانة العزل الكهربائي مع نسبة الكاولين المضافة.

الاستنتاجات :

1. تعمل عملية الصب الانزلاقي على توفير نماذج عوازل سيراميكية ذات متانة عزل جيدة نسبة الى النماذج المحضرة بطريقة الكبس الجاف .
2. اضافة الكاولين المحروق تؤدي الى زيادة عزل المنتج السيراميكي النهائي .
3. دراسة خواص العالق السيراميكي قبل عملية الصب الانزلاقي تعطي فكرة عن خواص المنتج السيراميكي النهائي.

المصادر :

1. الجبوري ، شهاب احمد " تحضير العوازل الكهربائية من الكاولين العراقي " اطروحة ماجستير ، جامعة بغداد ، 1995 .
2. هادي ، ايناس محي " تأثير اضافة الفلدسبار على بعض الخواص الميكانيكية والفيزيائية للكاولين العراقي " ، مجلة الهندسة والتكنولوجيا ، المجلد 21 ، العدد 9 ، 2002 .
3. و . ريان " خواص المواد الخام السيراميكية " هيئة المعاهد الفنية ، 1989.
4. Kang li , "Ceramic Membranes for Separation and Reaction" John wiley and Sons , Ltd , 2007
5. Carter C. Barry and Norton M. Grant , "Ceramic Materials /Scienc and Engineering " , 2007.

Kazuyuki Kubota and Shigeki Nishiyama " Ceramic Capacitors Aid High – Voltage Designs " , power Electronics Technology , May, (2004).

FRANK M.TILLER and Chun – Dartsai , "Theory of filtration of Ceramics : I, slip Casting " , J.Am . Ceram . sec . , Vol 69 , No. 12 , 1986 .

P.Rado , " Slip-Casting of Non –clay Ceramics " , Advanced Ceramics , No. 4 , 1987.

Andrew J. Ruys and Charles C. Sorrell , " Slip Casting of high Purity Alumina Using Sodium carboxymethylcellulose as Deflocculant / Binder " , Ceramics Bulletin , Vol. 69 , No. 5, 1990.

EGON G. Nordstrom and Kaj H. Karlsson , " Slip – Cast Apatite Ceramics " , Ceramic Bulletin , Vol. 69 , No. 5, 1990

C. Olagnon , D.Megarry and E. Nagy , "The of slip Effect

Casting Parameters on the sintering and Final properties of Si_3N_4 " , Ceram . Trans. J, No.88 , 1989.

12. د. النعيمي ، علاء الدين ، د. الجوادي ، ابراهيم محمد علي ، د. قاسم محمود علي ، " الفيزياء التطبيقية الحديثة " ، الجامعة التكنولوجية ، 1999.

13. أي كفل ، ام . عبدالله ، " هندسة الضغط العالي " ومديرية دار الكتب للطباعة والنشر ، جامعة الموصل ، 1982 .

R.Pampuch , " Ceramic Materials an introduction to their properties " , Elsevier Scientific pub . com , Amsterdam, 1976.

V.K.Mehta , " Principles of electrical engineering and electronics " , S.chand and comp . LTD. Ramnagar , newdelhi , India , 2004 .

16. العويسي ، احمد زيد عبيد ، " دراسة التحمل لبعض المواد السيراميكية للجهد الكهربائي " رسالة ماجستير ، جامعة بغداد ، 2004 .

17. صلاح احمد ، زهراء ، " دراسة ظروف التشكيل على الخواص الفيزيائية سيراميكية (البورسلين) " ، رسالة ماجستير ، الجامعة التكنولوجية ، 2005 .

18. عبد الوهاب حبيب ، ازهر ، " تحضير ودراسة الخواص التركيبية والعزلية للمركب السيراميكي $(M=Mn , pb) (Sr_{1-x} M_x TiO_3)$ " ، اطروحة دكتوراه ، جامعة بغداد ، 2007 .

19. صاحي حسين ، حيدر ، " دراسة بعض الخواص الفيزيائية والعوامل المؤثرة على متانة العزل الكهربائي لمتراكبات (سيراميك - زجاج) " ، رسالة ماجستير ، جامعة بغداد ، 2009 .