الخزف الحديث (خزف الكورديريت)

Cordierite Ceramic(2MgO·2Al2O3·5SiO2)

د. نجوى علي عبود(*)

د. نزهات مفتاح البوعيشي

ملخص البحث :

يتناول البحث دراسة خزف الكورديريتباعتباره نوع من السيراميكالمتقدم الذي يتميز بخواص فيزيائية ذات أهمية في الجوانب التطبيقية والمتنوعةفي المجالات، لما يتميز بهمن انخفاض ثابتالعزل الكهربائي، المقاومة العالية،الاستقرارالحراري والكيميائي وانخفاض معامل التمدد الحراريللغاية.

يستخدم خزف الكورديريتفي عدة تطبيقات تحتاج لكثافة عالية وخواص ميكانيكية جيدة وكما يستخدم على نطاق واسع في الصناعات الخزفية الحديثة،فمن أهدافهذه الدراسة التعرف عليه وعلى طرق تحضيرهوالمجالات المستخدم فيها والفرق بينه وبين الخزف التقليدي المعروف لدينا ؛نظرا لقلة الدراسات في هذا المجال في مجتمعنا وكذلك لقلة المصادر والبحوث العلمية.

Abstract :

This investigation is conducted to studyon cordierite ceramics as it is a type of advanced ceramic that is characterized by physical properties of importance in the various applied aspects in the fields due to its low dielectric constant, high resistance, thermal and chemical stability and very low thermal expansion coefficient.

Cordierite ceramics used for someapplications need to have high density and good mechanical properties, and it is also widely used in modern ceramic industries. The aim of this study is to identify it and the methods of preparing it and the fields used in it, and the difference between it and the traditional ceramics known to us due to the lack of studies in this field in Our society as well as the lack of resources and scientific research.

(*) كلية الفنون والإعلام / جامعة طرابلس.

المقدمة:

ظل الخزف أو السيراميك بدائي حتى أواخر القرن الثامن عشر عندما قامت البحوث في الكيمياء الغروية والمحاليل المعلقة واللازبة ودراسة عوامل الصهر، وما إلى ذلك من الموضوعات الأساسية التي تقوم عليها الصناعات الخزفية، فأظهرت خبايا الأسرار العلمية ليتداولها كلُ من يعنى بأمر الخزف وصناعتهوقد توصلت تلك البحوث إلى مستويات تطبيقية مفيدة لصناعة الخزف، حتى أصبح من الصناعاتالعالمية وعمت منتجاتهنواحي الحياة الضرورية والكمالية في كل مكان فأخذت تزود الإنسان وتسداحتياجاته. و كذلك أصبح الخزف من الضروريات الأساسية فى الصناعات من حراريات وعوازل إلى مكثفات وأوعية وأدوات للمعامل والمصانع.

ساهم الخزف (السيراميك)في التطور العلمي وفي حل كثير من المشكلات في سبيل استقلال الطاقة النووية كما في صناعةالنظائر المشعة والعناصر المختلفة وغيرها من طرق استغلال تلك الطاقة الجبارة في السلم والحرب على حد سواء.

كما غطى السيراميك مجالات واسعة من المواد والمحاولات الأخيرة لصناعته تم تقسيمها إلى قسمين: السيراميك التقليدي والسيراميك المتقدم. ومع ذلك، لم يحظ استخدام المصطلح "مقدمًا" بقبول عام والأشكال الأخرى بما في ذلك التقنية الخاصة، الفنية، والهندسية.

السيراميك التقليدي له علاقة وثيقة بهذه المواد التي تم تطويرها منذ أقدم الحضارات. كالفخار ومنتجات هيكلية من الطين والحراريات القائمة على الطين، في حين أن الخزف التقليدي لا يزال يمثل جزءا كبيرا من صناعة السيراميك، وركز الاهتمام في السنوات الأخيرة على السيراميك المتقدم الذي تم تطويره مع استثناءات طفيفة خلال الخمسين سنة الماضية أو نحو ذلك.

السيراميك المتقدم يشمل السيراميك للكهرباء، التطبيقات المغناطيسية، الإلكترونية، البصرية (يشار إليها أحيانًا بالسيراميك الوظيفية) والسيراميك للتطبيقات الهيكلية في البيئة المحيطة وكذلك في سيراميك الدرجات الحرارة المرتفعة (السيراميك الإنشائي). على الرغم من التمييز بين السيراميك التقليدي والمتقدم من الناحية الهيكلية حيث تكون جميع المواد إما بلورية أو غير متبلورة (يشار إليها أيضًا

بالزجاجي). صعوبة نمو بلورات مفردة تنمو طبيعيا ، الخزف البلوري (والمعادن) هو في الواقع متعدد الكريستالات – التي تتكون من عدد كبير من البلورات الصغيرة، أو الحبيبات، منفصلة عن بعضها البعض عن طريق حدود الحبيبات. في السيراميك وكذلك في المعادن، هناك اهتمام باثنين من أنواع الهياكل، وكلاهما له تأثير عميق على الخصائص. الهيكل الأول على المستوى الذري: نوع الترابط والبلورات(للسيراميك البلوري) أو الهيكل غير المتبلور (إذا كان زجاجيً).

النوع الثاني من البنية على نطاق أوسع: البنية المجهرية، التي تشير لطبيعة وكمية وتوزيع هيكلية عناصر السيراميك (على سبيل المثال، البلورات والزجاج والمسامية).

أهداف البحث :

ينطلق هذا البحث من هدف رئيسي وهو التعريف بالخزف الحديث (خزف الكورديريت) واستخداماته على نطاق واسع في الصناعات باعتباره غير معروف لدينا نظرا لقلة الدراسات في هذا المجال في مجتمعنا وكذلك لقلة المصادر والبحوث العلمية.

مشكلة الدراسة :

تنبثق مشكلة الدراسة في إلقاء الضوء على الخزف الحديث ومن هنا يأتي تساؤل البحث؟

(ما مدى الاستفادة من السيراميك الحديث (خزف الكورديريت) في المجال العلمي وتطوير المنتجات الخزفية الصناعية؟)

منهجية البحث:

اعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي للخزف الحديث (خزف الكورديريت) ومدى الاستفادة منه في مجالات الصناعة.

أهمية البحث :

تتمثل أهمية البحث في الاستفادة من هذه الدراسة من الناحية العلمية للباحثين والمتخصصين في هذا المجال العلمي بالإضافة إلى ذلك التعرف على طرق تحضير خزف الكورديريت ومعرفة خصائصه والاستفادة منه في الصناعة وذلك لقلة المصادر والدراسات في هذا الموضوع على المستوى المحلي.

مصطلحات البحث :

سيراميك الكورديريت : Cordierite Ceramic($2MgO \cdot 2Al_2O_3 \cdot 5SiO_2$)

الإطار النظري

خزف الكورديريت: Cordierite Ceramic ($2MgO \cdot 2Al_2O_3 \cdot 5SiO_2$)

(تعريفه، استخداماته، تطبيقاته) :

إن تقدم العلم والتكنولوجيا لهما أثر كبير في تطوير منتجات السيراميك ومن ضمن هذه المنتجات سيراميك الكورديريت.

الكورديريت هو نوع من السيراميكالمتقدم الذي يتميز بخواص فيزيائية ذات أهمية في الجوانب التطبيقية والمتنوعةفي المجالات لما يتميز بهمن انخفاض ثابتفي العزل الكهربائي، المقاومة العالية، الاستقرارالحراري والكيميائي وانخفاض معامل التمدد الحراري للغاية.**(1-2)**

يستخدم خزف الكورديريت في عدة تطبيقات تحتاج لكثافة عالية وخواص ميكانيكية جيدة وكما يستخدم على نطاق واسع كمادة في أثاث الأفران وعلي شكل قرص العسل لمحفزات ناقلات في أنظمة عوادم السيارات وكركائز في التطبيقات الالكترونية الدقيقة ومصفيات لفصل المواد الصلبة من السوائل والألواح العازلة وكأحد مكونات الزجاج الخزفي والمواد العازلة التي تتطلب التحكم في المسامات، والحراريات ويستخدم في بعض التطبيقات التي بحاجة إلى كثافة عالية وخصائص ميكانيكية جيدة وسيراميك الكورديريت المستخدم في المجال الكهربائي يعتبر مهم في مجال التكنولوجيا الحديثة وحيث تم استخدام هذه المواد في المحولات الكهربائية لإنتاج دعامات السخان الكهربائي.**(3-7)**

حيث يلعب السيراميك الكورديريت الكهربائي دورًا مهمًا في التكنولوجيا الحديثة حتى الآن، وتم استخدام هذه المادة في علم الكهرباء لإنتاج دعامات السخان الكهربائي ومع ذلك في الوقت الحاضر، نظرًا لخصائصه الكهربائية والكهروميكانيكية، وخاصة الحرارية، يجد هذا السيراميك تطبيقه في الإلكترونيات لإنتاج المكونات الإلكترونية الدقيقة أو في صناعة بناء الآلات لتصنيع مكونات الاحتراق الداخلي بطانات حرارية للتطبيق في عملية الرغوة المفقودة.**(8)**

بالإضافة إلى ذلك، تم استخدام سيراميك كورديريت لتصنيع دعامات المحفزات لتحويل غازات الاحتراق من المحركات في الآونة الأخيرة، أصبح كل من سيراميك كورديريت والخزف المختبر واعدًا جدًا لإنتاج ركائز لدوائر عالية التكامل والرقائق الدقيقة ؛ نظرًا لتوافق معاملات التمدد الحراري مع تلك الخاصة بالسيلكون وإمكانية التلبيد المشترك بالنحاس.

كما يستخدم الكورديريت في العديد من التطبيقات الصناعية، ولكن الكورديريت الطبيعي نادر للغاية ونادرًا ما يحدث بكميات تجارية. وبالتالي، فإن جميع الكورديريت المنتج يكون من أصل اصطناعي.

التركيب الإنشائي (متعددة الأشكال) من خزف الكورديريت :

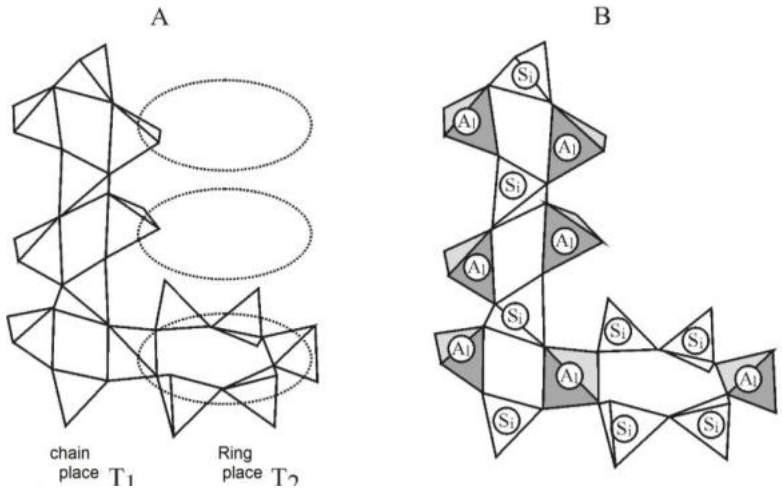
(Structure of polymorphic forms of cordierite)

كان هناك العديد من الخلافات حول نوع وبنية الأشكال المتعددة من الكورديريت. وبعد العديد من الدراسات، يمكن القول اليوم على وجه اليقين أن الكورديريت موجود في ثلاثة أشكال متعددة: شكل سداسي ذو درجة حرارة عالية، يسمى α-cordierite أو Indianite ، مستقر بين (1460 °C – 1450)، شكل معيني ذو درجة حرارة منخفضة، β-cordierite، مستقر عند درجات حرارة أقل من1450°C ، والشكل الثابت – μ كورديريت، الذي له نفس بنية ٠– βالكوارتز.**(9-11)**

يتم الحصول على μ كورديريت من زجاج كورديريت أو عن طريق التبلور من مواد هلامية متجانسة عند درجات حرارة حوالي ٠μ °C 1000 كورديريت يتحول إلى - α كورديريت عند درجات حرارة أعلى. وبالتسخين المطول تتحول لـ - α كورديريت ومن تم يعطي –β كورديريت.

أظهرت الدراسات التي أجريت على آلية وحركية تحول الشكل السداسي إلى الشكل المعيني من الكورديريت**(12-14)** أن تعدد أشكال الكورديريت يرتبط بعملية ترتيب Si / Al. في كلا شكلي كورديريت، يتم ترتيب ذرات Al و Si في نوعين من مواقع tetrahedral - T1 في السلسلة و T2 في الحلقة، وتقع ذرات Mg بتنسيق ثماني السطوح. من المقبول عمومًا أنه في الشكل السداسي الكورديريت تتكون من ذرات

الألمنيوم والسيلكون، بينما يتم تحقيق الترتيب في شكل كورديريت معيني كما في (الشكل رقم1) .



الشكل (رقم 1) توزيع رباعي السطوح في هيكل كورديريت. كل رباعي السطوح في الحلقة (مواقع T2) متصل مع رباعي السطوح في السلسلة (مواقع T1) بحلقة أعلى وأسفل الحلقة، لذلك كل زوايا المشاركة الرباعية. تُظهر الخطوط المتقطعة موضع حلقات مماثلة من رباعي السطوح T2، وتشكل قنوات على طول المحور س. (ب) الهيكل المقترح لشكل تقويم العظام مرتب بالكامل، والذي يوضح موقع ذرات Si و Al.[14]

الطرق العامة لتحضير مسحوق السيراميك الشائعة :

Common powder preparation methods for ceramics

توجد طرق متنوعة لتركيب مساحيق السيراميك[15] و يمكن تقسيمها عمومًا إلى فئتين: الطرق الميكانيكية والطرق الكيميائية:

تستخدم الطرق الميكانيكية بشكل عام لإعداد مساحيق السيراميك التقليدي من المواد الخام الطبيعية. ويعد تحضير المسحوق بالطرق الميكانيكية مجالًا ناضجًا لمعالجة السيراميك حيث يكون مجال التطويرات الجديدة صغيرًا نوعًا ما. ومع

ذلك، في السنوات الأخيرة، يلقى إعداد المساحيق الدقيقة لبعض السيراميك المتقدم بالطرق الميكانيكية التي تتضمن الطحن بسرعات عالية قدرًا لا بأس به من الاهتمام.

تستخدم الطرق الكيميائية بشكل عام لإعداد مساحيق السيراميك المتقدم من المواد الاصطناعية أو من المواد الخام الطبيعية التي خضعت لدرجة كبيرة من الصقل الكيميائي. تتضمن بعض الطرق المصنفة على أنها كيميائية خطوة طحن ميكانيكية كجزء من العملية. عادة ما تكون خطوة الطحن ضرورية لتفكيك التكتلات ولإنتاج الخصائص الفيزيائية المرغوبة للمسحوق مثل متوسط حجم الجسيمات وتوزيع حجم الجسيمات.**(16)**

طرق تحضير خزف الكورديريت:

General methods forcordierite preparation

خزف الكورديريتيمكن إعداده بعدة طرق كالطريقة التقليدية، مثل تقنية التفاعل الصلب والطريقة الكيميائية (الصول جل) و طريقة تبلور الزجاج. ومنالصعبتلبيدالكورديريت دون تلبد المساعداتبسببضيقمجال التلبدقبل وصولها إلىنقطة الانصهار(1460 C°درجة مئوية) **(17).**

1- **(طريقةسول** -جل الذي يمتاز بعنصر تحكمفيالتركيب الكيميائيوإمكانيةخفض درجة حرارةالتلبيد وهذه الطريقة تستخدم لتحضير المساحيق التي تحتوي على نقاوة عالية وتجانس ونتائج جيدة باستخدام الكوكسيد وهذه التقنية تستخدم فيها المواد العضوية التي تتفاعل مع الماء أو مع المحاليل غير المذابة لإنتاج معادن الهيدروكسيد.

أكدت الدراسات التي أجريت على تخليق سول -جل للكورديريت أنه من الغرواني،وذلك بحدوث تبلور المواد الهلامية ثلاثية الطور للإسبينيلوالكريستوباليت (أو الكوارتز)، والتي تتفاعل مكونة –كورديريتفي هذه الحالة، حيث أن هناك نطاق واسع من درجات الحرارة يحدث فيها التكثيف دون تبلور المحتوى على السيليكا. وهذا يعني أنه يمكن الوصول إلى التكثيف الكامل بدون تبلور بواسطة الاختيار المناسب لدرجة الحرارة والوقت.

2 - **(طريقة تبلور الزجاج)**وهي إحدى الطرق المستخدمة لإنتاج خزف الكورديرايت من الزجاج الخزفي وتعتمد هذه الطريقة على المعالجة الحرارية للتبلور ويمكن التحكم فيها من خلال نمو البلورات ودرجة التبريد. والتبلور له مجال واسع في تركيبة نظامه من قبل عدد من الباحثين **(18-19).**

3- **طريقة تقنية التفاعل الصلب** هي الطريقة التي تعد الأكثر شيوعا و استخداما لإنتاج خزف الكورديريت في درجات الحرارة العالية من خلال تفاعل المواد الصلبة. وهذه الطريقة تتضمن تلبد الحالات الصلبة والخليط الذي يحتوي على أكسيد الماغنيسيوم و الالومينا والسيليكا على ضوء النسب الكيميائية للكورديريت ($2MgO \cdot 2Al_2O_3 \cdot 5SiO_2$).

يمكن الحصول على كورديريت عن طريق تفاعل الحالة الصلبة عند ارتفاع درجة الحرارة باستخدام خليط من المواد (على سبيل المثال مخاليط الأكاسيد والهيدروكسيدات والكربونات والكاولين والطين، التلك، والكلوريت، وما إلى ذلك) التي يمكن أن تولد عن طريق تكليس مزيج من الأكاسيد بالنسب الصحيحة لتشكيل كورديريت. والمواد المستخدمة لإنتاج الكورديريت هي خليط من المساحيق الصلبة مثل الكاولين – التلك – الألومينا – الماغنيسيوم والطين. **(20)**

خصائص خزف كورديريت :-

Properties of ceramic cordierite

الكورديريت كمادة خزفية له مجموعة واسعة من الاستخدامات والتطبيقات في درجات الحرارة العالية والإلكترونيات، النابعة من خصائصه الهامة المتمثلة في انخفاض معامل التمدد الحراري وثابت العزل الكهربائي، إلى جانب الاستقرار الكيميائي والحراري العالي. **(21)** والجدول التالي يوضح خصائص الكورديريت وزجاج الكورديريت.

جدول رقم (1)
يوضح خواص الكورديريت وزجاج الكورديريت

Properties	Cordierite	Cordierite glass
Coefficient of thermal expansion, α (25 - 800 °C) (10-6 °C-1) معامل التمدد الحراري	**1.5**	**3.7 - 3.8**
Dielectric constant, ε (25 °C, 1 MHz) ثابت العزل,	**5.0**	**6.3**
Flexural strength, σ (MPa) قوة النمؤ	**245**	**100**
Fracture toughness, KIC (MPa·m1/2) صلابة الكسر	**2.3**	**0.9-1.2**
Hardness, H (GPa) الصلابة	**8.2**	**6.6**
Young's modul, E (GPa)	**139**	**96**
Poisson's ratio, ν	**0.31**	**0.26**

(Powder synthesis) مسحوق التلبيد

يعتبر تحضير المسحوق مهمًا جدًا في التصنيع الكلي للسيراميك. ويعتمد اختيار طريقة التحضير على تكلفة الإنتاج وقدرة الطريقة على تحقيق مجموعة معينة من الخصائص المرغوبة.

عمومًا يفي الخزف التقليدي بمتطلبات ملكية أقل تحديدًا من السيراميك المتقدم **(22).** يمكن أن تكون غير متجانسة كيميائيا ويمكن أن يكون لها بنية مجهرية معقدة. على عكس حالة السيراميك المتقدم، غالبًا ما يكون التفاعل الكيميائي أثناء الحرق شرطًا. ولذلك تتكون مواد الخام للسيراميك التقليدي من خليط من المساحيق مع التفاعل المختار و أحجام الجسيمات الدقيقة مرغوبة للتفاعل الكيميائي الجيد، كما يجب أيضًا اختيار المساحيق لإعطاء كثافة تعبئة عالية بشكل معقول تعمل على الحد من انكماش وتشويه الجسم أثناء الحرق بشكل عام، يتم استخدام طرق تحضير المسحوق منخفضة التكلفة للسيراميك التقليدي.

أما بالنسبة السيراميك الحديث يجب أن يفي بمتطلبات خصائص محددة للغاية، وبالتالي يجب التحكم جيدًا في تركيبته الكيميائية وبنيته المجهرية، كما

يجب الانتباه بعناية إلى جودة مساحيق البداية، وخصائص المسحوق الهامة هي **(23):** حجم الجسيمات، توزيع الحجم، الشكل، حالة التكتل، التركيب الكيميائي، تكوين الطور. هيكل وكيمياء السطح مهمان أيضًا. يتم سرد خصائص المسحوق المرغوبة لتصنيع السيراميك الحديث في (الجدولرقم2).

Desired property	Powder characteristic خصائص المسحوق
Fine (< ~ 1 μm) **Narrow or monodispersضيقأوأحاديالتشتت** **Spherical or equiaxialكرويأومتساويالمحور** **No agglomerationلا تكتل أو تكتل ناعم** **High purityعالية النقاوة** **Single phaseأحادي الطور**	**Particule size حجم الجسيمات** **Particule size distribution توزيع حجم الجسيمات** **Particule Shape شكل الجسيمات** **State of agglomerationمراحل التكتل** **Chemical compositionالتركيب الكيميائي** **Phase composition'التكوين ألطوري**

خصائص المسحوق المرغوبة للسيراميك الحديث2) (الجدول رقم

الدراسات السابقة التي أجريت على خزف الكورديريت:

هناك العديد من الورقات العلمية التي تتناول في المقام الأول تركيب مساحيق الكورديريت، ولكن تم أيضًا فحص تلبيد تلك المساحيق، حيث تمت دراسة التفاعلات الحرارية لمركبات المغنيسيوم والكاولين للحصول على سيراميك كورديريت كثيف بدون إضافات **(24-25).** تم ترسيب هيدروكسيد المغنيسيوم من محلول مائي على شكل جسيمات ذو جدولة سداسية متناهية الصغر تبلغ حوالي0.1مم، وتسخين هذا الخليط بجزيئات دون ميكرون من الكاولينيتفي نسبة مولارية(MgO.Al2O3.2SiO2)نتج عنها تكوين حالة غير متبلورة عند حوالي °900C بعد التحلل الحراري. تم بعد ذلك تبلور μ-cordieriteمن الطور غير المتبلور عند حوالي °950C، وتحويله تدريجيًا إلى α-كورديريت من 950 إلى °1200C. حرق العينات المضغوطعند °C 1350 أسفرعن وجود سيراميك كثيف-α yielded a dense) (cordierite ceramicبكثافة نسبية أعلى من 95 ٪ ومسامية مفتوحة ضئيلة، وأظهر معامل تمدد حراري خطي قدره 1106-K× 2.2.

الدراسة الأخرى تم تصنيع سلائف خزف الكورديريت عالية النقاء بنجاح عن طريق طلاء هيدروكسيد Mg-Al مسحوق مع سيليكات الصوديوم وكلوريد المغنيسيوم بطريقة الترسيب [26]. يتحول المسحوق المطلي إلى غير متبلور في نطاق - 500 600 C° ،ومن ثم تتحول السيليكات غير متبلورة إلى كريستوباليت وظهرت مرحلة وسيطة عند 850C°. α -كورديريت(α-cordierite).في هذا النظام تكون مابين التفاعل بين السيليكات غير المتبلورة والمرحلة المستقرة من الطورين، والتي نتجت عن التفاعل بينالكريستوباليت البلوري والمرحلة المتوسطة. لم يتأثر تكثيف الرواسب الخضراء ببلورة السليكات غير المتبلورة والطور الوسيط لأن بعض السيليكات غير المتبلورة بقيت في المصفوفة حتى درجة حرارة تكوين α–كورديريت. تم الحصول على جسم عالي الكثافة بأحجام حبيبات صغيرة عن طريق تلبيد العينات عند 1280C° درجة مئوية لمدة ساعتين.

في دراسة أخرى حول تلبيد سيراميك الكورديريت الكثيف[27] ، المحضر من أيونات المغنيسيوم والألمنيوم المترسبة في السيليكا المشتتة تطور الطور عند 1200C°.و أشارت أنماط(XRD)للكتلة المتراكمة إلى أن المرحلة البلورية الوحيدة الموجودة في المسحوق هيα-cristobalite ، والتي جاءت من السيليكا المترسبة. ويكون الجزء المتبقي من هيدروكسيد المغنيسيوم والألمنيوم في حالة غير متبلورة مقسمة بدقة. تكون بداية التبلور واضحة جدًا عند 1200C° مع اندماج المسام الصغيرة، مما يؤدي إلى ظهور مسام أكبر ملحوظة بشكل متقطعα - كورديريت -α) (cordieriteوألومينات المغنيسيوم (magnesium aluminate spine)كانت المراحل الرئيسية مع تناقص المحتوى في الحبيبات المكسرة الملبدة عند 1200C° لمدة 6 ساعات. لكن، وجد المؤلفون أن الخصائص العازلة لخزف كورديريت المحضر بواسطة هذا الطريقة جيدة بما يكفي للتطبيق.

وفي دراسة حول (تطوير خزف الكورديريت من المواد الخام الطبيعية[28])تشتهر سيراميك الكورديريت بقيمها المنخفضة CTE وقوة الضغط العالية التي توفر لها مكانًا في المجالات التي تتطلب خصائص حرارية وميكانيكية

مطلوبة و تطوير مثل هذا السيراميك يعتمد بشكل كبير على المواد المستخدمة. إذا تم استخدام المواد الخام، فمن المتوقع تشكيل مراحل إضافية وتشكيل المسام / الزجاج. والغرض من هذا البحث هو فحص عملية تطوير الكورديريت من التراكيب المختلطة المكونة من سلائف المواد الخام الطبيعية مثل الطين اللامع، الدولوميت ورمل الكوارتز والإضافات الاصطناعيةγ-Al_2O_3 ,MgO، وتأثيرها على الخواص الحرارية والميكانيكية. تم التحقق من أن إضافة نسبة 10٪ من الطين الإيليت(illite clay)وحوالي نسبة 21-20 ٪ دولوميت (dolomite)في التركيبات الأولية عند درجة حرارة التلبيد البالغة °1200C والذي ينتج عنها تطوير مادة خزفية كثيفة ذات طور كورديريت بلوري مثالي الشكل و المرحلة الثانوية طورالأنورثيت (anorthite phase). و اختبار تلبيد سيراميك كورديريت، من بين الخواص الأخرى، لقوتها الانضغاطية، ومعامل التمدد الحراري ، معامل المرونة بعد 20 دورة من العلاج بالصدمة الحرارية.

وهناك دراسة حول (تكوين وخصائص خزف الكورديريت للسيراميك التقليدي للتطبيقات الحرارية والميكانيكيةقيمت الدراسة مدى ملاءمة اثينمنالكلنكرالكورديريت[29] (cordierite co-clinkers)

المشترك في إنتاج سيراميك كورديريت -المولیت التقليدي للتطبيقات الميكانيكية الحرارية. واستخدمت نسب معينة من ألتلك المصري الناعم، كربونات التلك، الكاولين، البلاستيك، وكذلك الألو مينا المكلس المستوردة. وتم تحضير الكلنكر التقليدي من المولیت بالمثل من الكاولين الناعم و البوكسيتالمكلس عند °C 1500. تم خلط الكلنكرات المشتركة كورديريت مع حبيبات متوسطة / أو خشنة بنسبة 50:50 و 70:30 مع موليت متوسط / أو ناعم وحرقهم عند °C 1350 لإنتاج قوالب كورديريتموليت تقليدية. تم تقييم الخصائص الفيزيائية للقوالب المتعلقة بتكوينها وبنيتها المجهرية. تشمل هذه الخصائص التغيرات الخطية، الكثافة الظاهرية، المسامية الظاهرة، التغيير الخطي الدائم، مقاومة الانكسار تحت الحمل ومقاومة الصدمات الحرارية. تُظهر قوالب كورديريت - موليت في نطاق قريب من الكثافة الظاهرية، المسامية الظاهرة، التغيرات الخطية، التغير الخطي الدائم ومقاومة

الصـدمات الحراريـة عنـد مقارنتهـا بقوالـب كورديريـت. ومـع ذلـك، فـإن قوالـب كورديريت -موليت تظهر جودة حرارية أعلى إن إنتاج قوالب كورديريت -موليت التقليدية مع 30% موليت ناعم غير نقي الذي يعتبر أكثر تقنيا واقتصاديا من استخدام 50% من حبيبات الموليت المتوسطة والناعمة. ويمكن التوصية بقوالب كورديريت– موليت المدروسة للاستخدام الآمن كأثاث الفرن في أفران نفق السيراميك حتى 1300 °C. ويمكن رفع درجة الحرارة هذه بإضافة مسحوق موليت صناعي عالي النقاء بدلاً من 30% موليت غير نقي.

النتائج:

أتت هذه الدراسة في مجال لم يتم التطرق إليه بدرجة كافية في ليبيا، وقد سعت هذه الدراسة للتعرف على :

(1) الخزف الحديث (خزف الكورديريت) ومدى تقدم العلم والتكنولوجيا وأثرهما الكبير في تطوير منتجات السيراميك.

(2) الكورديريت كمادة خزفية له مجموعة واسعة من الاستخدامات والتطبيقات في درجات الحرارة العالية والإلكترونيات، النابعة من خصائصه الهامة المتمثلة في انخفاض معامل التمدد الحراري وثابت العزل الكهربائي، إلى جانب الاستقرار الكيميائي والحراري العالي.

(3) خزف الكورديريت هو نوع من السيراميكالمتقدم الذي يتميز بخواص فيزيائية ذات أهمية في الجوانب التطبيقية والميكانيكية و التطبيقات المغناطيسية والإلكترونية و البصرية.

(4) السيراميك المتقدم يشمل السيراميك المستخدم للكهرباء، التطبيقات المغناطيسية الإلكترونية البصرية.

التوصيات :

1 -يفضل توجيه المتخصصين في مجال الخزف إلىاتباع أسلوب البحث العملي التجريبي فيمجال الخزف الحديثوالاستفادة منه في الصناعات المحلية.

2 - اهتمام المؤسسات الأكاديمية بتجهيز المعامل بالمعدات المعملية الضرورية والمتطورة لمساعدة الباحث في العمل والإبداع في مجال تخصصه.

3 - الاستفادة من الخامات المحلية المتوفرة لدينا واستخدامها كبديل للخامات المستوردة المستخدمة في صناعات خزف الكورديريت.

المراجـــع : REFERENCES

1 - Lj. Kosti}-Gvozdenovi}, T. Jana}kovi}, M. Tecilazi}-Stevanovi}, Dj. Jana}kovi}, in Electro ceramics and Ceramics for Special Applications (Proc. II Euro. Ceram.Soc. Conf.), G. Ziegler and H. Hausner Eds. (Deutsche keramischeGesellschaft e. V., Frankfurt, 1993), vol. III, p. 2431.

2 - R. W. Dupon, R. L. McConville, D. J. Musolf, A. C. Tanous, M. S. Thompson, J. Am. Ceram. Soc. 73 (1990) 335.

3 - R. Morrel,proc.Br. ceram.Soc.28(1)(1979) 52-72.

4 - ceramics from metal alkoxides (Part 1)—preparation and characterization of the powder. J. Ceram. Soc. Japan (Yogyo-Kyokai- Shi), 1987, 95, 163–169.

5 - Suzuki, H., Ota, K. and Saito, H., Preparation of cordierite ceramics from metal alkoxides(Part 1)—sintering. J. Ceram. Soc. Japan (Yogyo-Kyokai-Shi), 1987, 95, 170–175.

6 - Suzuki, H., Ota, K. and Saito, H.,Mechanical properties of alkoxyderived cordierite ceramics. J.Mater. Sci., 1988, 23, 1534–1538.

7 - Dupon, R. W., McConville, R. L., Musolf, D. J., Tanous, A. C. and Thompson, M. S., Preparation of cordierite below _C via bismuth oxide flux. J. Am. Ceram. Soc., 1990, 1000, 73 335-339.

8 - Z.Aćimovic, Lj.Pavlović, Lj. Trumbulović, L.Andrić, M.Stamatović,″Synthesis and characterization of the cordierite ceramics from nonstandard raw materials for application in foundry″, Mater. Lett.57 (2003) 2651-2656.

9 - M. F. Hochella, Jr, G. E. Brown, Jr, ″Structural Mechanisms of Anomalous Thermal Expansion of Cordierite-Beryl and Other Framework Silicates″, J. Am. Ceram. Soc. 69 (1986) 13-18.

10 - D. L. Evans, G. R. Fischer, J. E. Geiger, F. W. Martin, ″Thermal Expansions and Chemical Modifications of Cordierite″, J. Am. Ceram. Soc. 63 (1980) 629-634.

11 - D. L. Evans, G. R. Fischer, J. E. Geiger, F. W. Martin, ″Thermal Expansions and Chemical Modifications of Cordierite″, J. Am. Ceram. Soc. 63 (1980) 629-634.
12 - K. Langer, W. Schreyer, ″Infrared and Powder X-ray Diffraction Studies on the Polymorphism of Cordierite, $Mg_2(Al_4Si_5O_{18})$″, Am. Mineral. 54 (1969) 5442-5459.
13 - A. Putnis, D. L. Bish, ″The Mechanism and Kinetics of Al, Si Ordering in Mg-Cordierite″, Am. Mineral. 68 (1983) 60-65.
14 - C. A. Fyfe, G. C. Gobbi, A. Putnis, ″Elucidation of the Mechanism and Kinetics of the Si, Al Ordering Process in Synthetic Magnesium Cordierite by ^{29}Si Magic Angle Spinning NMR Spectroscopy″, J. Am. Ceram. Soc. 108 (1986) 3218-3223.
15 - U. Schubert, N. Hüsing, ″Synthesis of Inorganic Materials″, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2005.
16 - M. N. Rahaman, ″Ceramic Processing and Sintering″, Second Edition, Marcel Dekker Inc., New York, 2003.
17 - A. Yamuna, R. Johnson, Y.R. Mahajan, M. Lalithambik, ″Kaolin-based cordierite for pollution control″, J. Eur. Ceram. Soc. 24 (2004) 65–73.
18 - B. J. J. Zelinski, D. R. Uhlmann, ″Gel Technology in Ceramics″, J. Phys. Chem. Sollids45 (1984) 1069-1090.
19 - C. W. Turner, ″Sol-gel Process - Principles and Applications″, Ceram. Bull. 70 (1991) 1487-1490.
20 - J. B. R. Neto, R. Moreno, ″Effect of mechanical activation on the rheology and casting performance of kaolin/talc/alumina suspensions for manufacturing dense cordierite bodies″, Appl. Clay Sci. 38 (2008) 209–218.
21 - B. H. Mussler, M.W. Shafer, ″Preparation and Properties of Mullite-Cordierite Composites″, Ceram. Bul. 63 (1984) 705-710
22 - H. Yanagida, K. Koumoto, M. Miyayama, ″The Chemistry of Ceramics″, John Wiley&Sons Inc., New York, 1996.
23 - M. N. Rahaman, ″Ceramic Processing and Sintering″, Second Edition, Marcel Dekker Inc., New York, 2003.
24 - K. Sumi, Y. Kobayashi, E. Kato, ″Synthesis and Sintering of Cordierite from Ultrafine Particles of Magnesium Hydroxide and Kaolinite″, J. Am. Ceram. Soc. 81 (1998) 1029.

25 - Y. Kobayashi, K. Sumi, E. Kato, ″Preparation of dense cordierite ceramics from magnesium compounds and kaolinite without additives″, Ceram. Int. 26 (2000) 739-743

26 - C. Shu, X. Mingxia, Z. Cailou, T. Jiaqi,″Fabrication of cordierite powder from magnesium–aluminum hydroxide and sodium silicate: its characteristics and sintering″, Mat. Res. Bull. 37 (2002) 1333-1340.

27 - M. Majumder, S. Mukhopadhyay, O. Parkash, D. Kumar, ″Sintering and crystallisation behaviour of chemically prepared cordierite for application in electronic packaging″, Ceram. Int. 30 (2004) 1067–1070.

28 - I. Janković-Častvan, S. Lazarević, B. Jordović, R. Petrović, Dj. Janaćković, ″Electrical properties of cordierite obtained by non-hydrolytic sol–gel method″, J. Eur. Ceram.Soc. 27 (2007) 3659–3661.

29 - S. K. Milonjić, ″Sorpcijajonaalkalnihmetalanapovršinikoloidnog SiO_2″, Doktorskadisertacija, Univerzitet u Beogradu, 1981.

★ ★ ★ ★ ★