# تحديد أفضل المواد الحرارية ملاءمة لقوالب تشكيل الزجاج بالنفخ اليدوي

# Determination of Best Refractories Suitable for Glass Forming Molds by Manual Blowing

**أ.د/ عزالدين عبد العزيز حسن**

**أستاذ التصميم ورئيس قسم الزجاج الأسبق - كلية الفنون التطبيقية – جامعة حلوان**

**Prof. Ezz Eldin Abdelaziz Hassan**

**Former Head of the glass Department, Faculty of Applied Arts Helwan University**

**أ.د/ عماد محمد محمد عويس**

**أستاذ الحراريات ورئيس مركز بحوث وتطوير الفلزات - وزارة التعليم العالي والبحث العلمي**

**Prof. Emad M.M. Ewais**

**President of Central Metallurgical Research Institute (CMRDI)**

**أ.د/ حسام الدين نظمي حسني مطاوع**

**أستاذ بقسم الزجاج - كلية الفنون التطبيقية – جامعة حلوان**

**Prof. HossamEldin Nazmy Hosny**

**Prof at glass Department, Faculty of Applied Arts Helwan University**

**الباحث / أحمد محمد حسن الشناوي**

**باحث مساعد بقسم المواد السيراميكية والحرارية – معهد المواد المتقدمة - مركز بحوث وتطوير الفلزات – وزارة التعليم العالي والبحث العلمي.**

**Researcher. Ahmed Mohamed Hassan Elshenawy**

**Research Assistant at Refractory and Ceramic Materials Department, Advanced Materials Institute, Central Metallurgical Research Institute (CMRDI)**

**d.aelshenawy@yahoo.com**

**الملخص:**

تتميز المواد الحرارية بتحملها درجات الحرارة العالية التي تصل إلى ٢٨٠٠ مْ وتحملها التغيرات المفاجئة في درجات الحرارة وتقاوم الصدمات الميكانيكية، ونظرا لتشكيل الزجاج في درجة حرارة تصل إلى (١١٠٠-١٠٠٠مْ ) فإنه يتطلب أن تتحمل قوالب التشكيل المصنعة من المواد الحرارية تلك الدرجة، هذا إلى جانب قدرة المادة الحرارية علي إظهار التفاصيل الدقيقة والأسطح النحتة البارزة والغائرة (ناعمة- خشنة) في المنتج الزجاجي، ولتحقيق التفرد والتميز في المنتج الزجاجي، ونظرا لما يتطلبه القالب الحراري في تصنيعه وتشكيله بالنفخ اليدوي من حيث قدرته علي تحمل الضغوط، وعدم التفتت والتحمل الحراري الذي يصل إلى (١٥٠٠- ١٧٥٠) مْ وانخفاض معدل التمدد والانكماش الذي يصل إلى ± ٠,٠٥ مم وكذلك نعومة سطحه والتي تعتبر بمثابة مرآة لنموذج التشكيل، ولما كانت المادة الزجاجية حامضية التكوين، فإنه يتطلب أن تكون مكونات التركيبة الحرارية للقالب حامضية أو متعادلة أيضا. لتتنافر مع مكونات الزجاج وتجعله لا يلتصق بها وعليه فتم اختيار بعض المواد الحرارية التي تدخل في عمل تركيبات حرارية يمكن أن تحقق خواص كيميائية وطبيعية تصلح في تصنيع قوالب تشكيل الزجاج بالنفخ اليدوي وتم عمل (١٦) تركيبة حرارية، وتوصل البحث إلى إيجاد مواد حرارية جديدة تفي بمتطلبات القالب الحراري وتحقق جودة المنتج الزجاجي في التشكيل وتحقق العددية في الإنتاج وكذلك أثبتت المواد الحرارية صلاحية تامة في تنفيذ القوالب الحرارية وتشكيل الزجاج كما أن أفضل التركيبات الحرارية هي التركيبة رقم (٥) وذلك من حيث الكثافة ومقاومة التشققات والشروخ والتحمل الحراري ومقاومة التفتت وقلة معامل الانكماش ومطابقة المواصفات الفنية لتصميم القالب الحراري، وأوصت الدراسة بتفعيل دور مصمم الزجاج في تصميم قوالب تشكيل الزجاج

الحرارية في المنتجات ذات الطبيعة الجمالية ومنتجات القطعة الواحدة. لذلك يوصى باستخدام القوالب الحرارية عند انتاج العينة الأولى من المنتجات الزجاجية ذات الطبيعة الفنية.

**الكلمات المفتاحية:**
المواد الحرارية، درجات الحرارة العالية، الصدمات الميكانيكية، الزجاج، قوالب الزجاج.

## Abstract:

Refractories are characterized by their ability to withstand high temperatures that reach 2800°C, their ability to withstand sudden changes in temperature, resist mechanical shocks, due to the formation of glass at a temperature of 1050-1100°C, it is required that the molds manufactured from refractories withstand that temperature. This is in addition to the ability of the refractory material to show the fine details and the prominent and recessed sculptural surfaces (smooth - rough) in the glass product, and to achieve the uniqueness and excellence of the glass product. This is due to the requirements of refractory mold in its manufacture and assortment with manual blowing in terms of its ability to withstand pressures, non-fragmentation, thermal endurance that reaches (1500 - 1750°C), and a low rate of expansion and contraction that reaches ± 0.05 mm, as well as its flat smoothness, which is considered as a mirror of a model formation. Since the glass material is acidic, it requires that the components of the refractory composition of the mold be acidic or neutral as well. To prevent the adhesion with the glass components thus, some refractories were selected that enter into the work of refractory formulations that can achieve chemical and natural properties suitable in the manufacture of glass forming molds by manual blowing. (16) Refractory compositions were made, and the research reached to find new refractories that meet the requirements. Thus, it is recommended to use refractories for producing the prototype of the glass products which are characterized by aesthetic products.

## Keywords:

Refractories, High temperature, Mechanical shock, Glass, Glass molds.

## مقدمة:

الزجاج يمثل الحالة الرابعة للمادة، ويتكون من مجموعة من الأكاسيد مثل أكاسيد (السيليكون، والصوديوم، والكالسيوم، والبوتاسيوم، والمغنسيوم، والالومنيوم) وبعض الأكاسيد الملونة وغير الملونة، وللزجاج استخدامات عديدة سواء وظيفية أو جمالية تتوقف علي خصائصه الكيميائية والفيزيقية والحرارية وبالطبع فإن تقنيات الإنتاج تؤثر تاثيراً مباشراً علي خصائص وشكل المنتج الزجاجي، وتتعدد أساليب وطرق إنتاج الزجاج كالآلي والنصف آلي واليدوي، وكذلك إعادة تشكيلة داخل الأفران المغلقة، وتشكيل الزجاج بالنفخ اليدوي داخل قالب.

وتعد طرق التشكيل بالنفخ اليدوي في قالب أحد الطرق التي جذبت الاهتمام نظراً لقدرتها علي تشكيل المنتجات الزجاجية ذات الطبيعة الفنية بكميات محدودة وبتكلفة منخفضة ووقت قليل.كما أن كل ما يمكن تشكيلة وانتاجه آليا يمكن انتاجه وتشكيلة يدويا، بينما تعجز الماكينات عن تنفيذ وتشكيل بعض المنتجات اليدوية ذات التشكيلات الفنية والجمالية ذات التفصيلات الدقيقة والمركبة والتي لا يمكن انتاجها آليا (٢).

وتناسب المواد الحرارية تشكيل القالب الحراري لنفخ الزجاج ويوجد منها نوعان، حراريات مشكلة وحراريات غير مشكلة وتعتبر الأخيرة المستهدفة ومحل الدراسة، لما تتمتع بة من قابلية التشكيل في صورة حراريات غير مشكلة ولقدرتها علي إظهار أدق التفاصيل من التشكيلات الفنية للمنتج الزجاجي، وذلك بعد صبها علي نموذج المنتج الزجاجي.

**مشكلة البحث:**

الحاجة إلى إيجاد بدائل من المواد الحرارية تكون ملائمة في خواصها الفيزيائية والكيميائية لمتطلبات تصميم قوالب تشكيل الزجاج بالنفخ اليدوي.

**أهمية البحث:**

- يساهم في تطبيق التكنولوجيا المتقدمة لتصنيع القوالب الحرارية لتشكيل الزجاج بالنفخ اليدوي.
- من الأبحاث البينية لقسم الزجاج بكلية الفنون التطبيقية جامعة حلوان ومركز بحوث وتطوير الفلزات.

**هدف البحث:**

التوصل إلى تركيب مواد حرارية جديدة ذات خواص فيزيائية و كيميائية تلائم الخواص الكيميائية والفيزيائية ومتطلبات قوالب تشكيل الزجاج من حيث الكثافة والتحمل الميكانيكي وعدم التفتت والتشقق وعدم الالتصاق بالقالب الحراري وان تكون قليلة التمدد والانكماش، وتحقق العددية في الإنتاج وتطابق الزجاج لمواصفات التصميم.

**فرض البحث:**

أنه بتحديد أفضل البدائل من المواد الحرارية لقوالب تشكيل الزجاج بالنفخ اليدوي يؤدي إلى تحقيق كفاءة القالب الحراري في التشكيل والتشغيل وبالتالي مطابقة مخرجات القالب لمواصفات المنتج.

**منهج البحث:**

استقرائي – تجريبي

**الطريقة والإجراءات Methods :**

ويجب أن تفي خواص التركيبات الحرارية للقالب ( الفيزيائية والكيميائية ) بمواصفات القالب التالية :

1- إظهار شكل تفاصيل النموذج. Render Details
2- مقاومة التفتت والتقشر والانكسارعند مناطق اتصال القالب .Parting line
3- الكثافة Density.
4- التحمل الحراريWorking temperature
5- معامل التمدد والانكماش.Shrinkage
6- ملائمة الطريقة الإنتاجية (نفخ مع الدوران – نفخ مع الضغط).Appropriate production method
( مقاومة الاحتكاك أثناء النفخ مع الدوران. - مقاومة الضغوط أثناء النفخ مع الضغط)
7- عدد المنتجات المنتجة.Productivity
8- نسبة مطابقة مواصفات المنتج الزجاجي.Match ratio

تم إجراء البحث من خلال الآتي:

1- التجارب المعملية
2- التجارب التطبيقية

## أولا: التجارب المعملية Experimental studies

1- التجهيزات والأدوات والأجهزة المستخدمة لتنفيذ التجارب المعملية.

2- الشروط الواجب توافرها عند عمل التجارب الحرارية لتحديد أفضلها.

3- تركيبات حرارية معملية لقوالب تشكيل الزجاج بالنفخ اليدوي.

4- معايير تقييم التجارب الحرارية لتحديد أفضلها.

5- أفضل المواد الحرارية ملائمة في خواصها لتصنيع قوالب تشكيل الزجاج بالنفخ اليدوي.

6- النتائج.

7- التوصيات.

8- المراجع العربية والأجنبية.

### 1- التجهيزات والأدوات والأجهزة المستخدمة لتنفيذ التجارب المعملية.

١-١ ميزان لوزن المواد.

١-٢ مجموعة آنية للخلط.

١-٣ خلاط كهربي متعدد السرعات.

١-٤ مجموعة قوالب لتشكيل العينات مقاس ٥×٥×٥ سم & ٢٣×٥×٥ سم

١-٥ مجفف Drier

١-٦ فرن كهربي رقمي Muffle Furnace

١-٧ منشار كهربي للمواد الحرارية.

١-٨ القدمة ذات الورنية.

١-٩ جهاز قياس القوة الميكانيكية للمواد الحرارية Cold Crushing Strength.

جدول (١) **مواصفات الأدوات والاجهزة المستخدمة في التجارب المعملية والعملية.**

| م | الأدوات والاجهزة | الشكل / الصورة |
|---|---|---|
| ١ | ميزان رقمي ذو حساسية ± ٠,١:٠,٠٠٠١ جرام لوزن العينات المعملية - الوزن أقل من ٢٢٠ جرام.<br>Specification:<br>- Capacity: 220g<br>- Readability: 0.1mg / 0.0001g | |

| | | |
|---|---|---|
| ٤ | عجان كهربي(Mixer) لخلط الخامات الحرارية.<br>**DOBBOR Stand Mixer 8.5 QT 6+1 Speeds 660W Tilt-Head Food Mixer Kitchen Electric Standing Mixer with Dough Hook, Whisk, Beater, Splash Guard & Mixing Bowl for Baking, Silver** | |
| ٥ | مجفف (Dryer)<br>لتجفيف المواد الحرارية (العينات – القوالب) وهويعمل حتى ٣٠٠ م°.<br>OVENS LABORATORY / DRYING OVENS UP TO 300ºC<br>MRC Laboratory instruments company | |
| ٦ | فرن كهربي رقمي حتى Nabertherm Muffle<br>١٤٠٠ م°Furnace.<br>وهو يعمل على حرق وتلبيد المواد الحرارية.<br>**Nabertherm L-091H2RN Lt 9/12/B410 Professional Muffle Furnace, 1 x 240V**<br>**Brand: NABERTHERM**<br>**We are working hard to be back in stock as soon as possible.**<br>• **Package Dimensions: 31 L x 25 H x 33 W (inches)**<br>• **Package Weight: 168 pounds**<br>• **Country of Origin : Germany**<br>• **Part Number: L-091H2RN** | |
| 7 | ماكينة الضغط حتى ١٠٠ طن<br>Compressive testing machine 100 ton.<br>وهي تعمل علي ضغط المواد الحرارية لقياس القوة الميكانيكية لها.<br>**Capacity** \| **1000KN (100T)**<br>**Testing force effective range** \| **20KN~1000KN**<br>**Force accuracy** \| **±1%**<br>**Displacement measurement resolution** \| **0.01mm** | |

| | |
|---|---|
| **Deformation testing accuracy** | **±0.5%** |
| **Control range for Constant force, constant deformation, constant displacement** | **0.4%~100%F.S** |
| **Control accuracy for Constant force, constant deformation, constant displacement** | **When set testing value <10%FS, the accuracy is with ±1% of the set testing value When set testing value ≥10%FS, the accuracy is within ±0.5% of the set testing value** |
| **Control accuracy of deformation speed** | **within ±2.0% of set value when speed<0.05%FS, within ±0.5% of set value when speed≥0.05%FS,** |
| **Max moving speed of piston** | **80mm/min.** |
| **The Max tensile space (Including stroke of piston)** | **850mm** |
| **The Max compression pace (Including stroke of piston)** | **750mm** |
| **Flat sample clamping thickness** | **0~60mm** |
| **Flat sample clamping width** | **120mm** |
| **Clamping diameter of Round specimen (mm)** | **φ13~φ60** |
| **Compression plate** | **204mmX204mm** |

**٢- الشروط الواجب توافرها عند عمل التجارب المعملية**

2-1 تحضير المواد الحرارية كل علي حدي [١].

2-2 وزن المواد الحرارية حسب نسبة كل مادة في التركيبة الحرارية.

2-3 يتم خلط تلك المكونات معا من خلال الخلاطة الكهربية علي الوضع الجاف لمدة خمس دقائق وبعدها يتم إضافة الماء تدريجيا حتى نحصل علي خلطة متجانسة تأخذ شكل كرة. وبنسبة ماء لا تتجاوز ٧-١٥%.

2-4 يتم صب الخلطة في قوالب لتشكيلها علي شكل مكعبات ذات مقاس ٥×٥×٥ سم أو تصب علي شكل بلاطات ٢٠*٢٠*٥ سم. ثم تقطع بعد ذلك دون إضافة ماء أثناء التقطيع حتى لا يؤثر علي قوتها الميكانيكية.

2-5 تغطي بقطعة من القماش كي لا يتبخر الماء من الطبقة السطحية للعينة.

2-6 تترك لمدة ٢٤ ساعة للجفاف الابتدائي ثم تأخذ من القوالب المشكلة فيها.

2-7 توضع العينات في المجفف عند درجة حرارة ٦٠ م° لمدة ١٢ ساعة ثم نرفع درجة الحرارة إلى ١١٠ م° وتترك لمدة ٢٤ ساعة وذلك لضمان الجفاف الابتدائي للماء.

2-8 يتم وضع العينات في فرن كهربي مغلق Kiln Furnace وبمعدل تسخين ١٧٠م° / ساعة حتى نصل إلى ١١٠٠م° ثم يتم عمل ثبات لدرجة الحرارة لمدة خمسة ساعات ثم تترك لتبرد داخل الفرن أو تبرد من خلال معدل تبريد ١٠٠ م° / ساعة حتى درجة حرارة الغرفة.

## ٣ - تركيبات حرارية معملية لقوالب تشكيل الزجاج بالنفخ اليدوي[٢]:

تتكون التجربة الحرارية المقاومة للصهر من ٢٥% [٢]من مواد حرارية صامدة للحرارة علي الأقل ويفضل حوإلى ١٥% من مادة رابطة بحجم حبيبي أقل من ٥ ميكرون ويفضل أن تشمل ما بين ١،٢ ميكرون وتحتوي علي نسبة عالية من الالومينا بحجم حبيبي اقل من ٢٠ ميكرون ويفضل أن تقع في المدى(١:٢٠) ميكرون بنسب متتإلية من (٣:٧) ميكرون تقريبا وهي النسب المناسبة للحصول علي خرسانة حرارية ويتم قياس العينات وفقا للمواصفات القياسية التالية :

1- يتم قياس كثافة العينات عند ١١٠ م° ووفقا ل American Standard Testing Measurements (ASTM) 134-95.

2- يتم قياس كثافة القوة الميكانيكية عند ١١٠ م° ووفقا ل .ASTM 133-97

3- يتم قياس كثافة التمدد والانكماش عند ١١٠ م° ووفقا ل .ASTM 133-02

**وقد اشتملت التجارب الحرارية على عدد ( ١٦ ) تجربة كالتالى :**

**التركيبة رقم 1:**

- **المكونات :**

٥٠% من الالومينا + ٤٥,٣٨% من السيليكا + ١,٥% من أكسيد الحديد الثنائي + ٢,٨% من أكسيد التيتانيوم + ٠,٢ % من أكسيد الكالسيوم + ٠,١% من أكسيد المغنسيوم + ٠,٢% من أكسيدي الصوديوم والبوتاسيوم.والحجم الحبيبي للتركيبة ٠-٦ مم

**الهدف من التجربة:**

الحصول علي تركيبة حرارية تتحمل الحرارة العالية أكثر من ١٢٠٠ م° وذات كثافة من ٢,٩:١,٩ جرام / سم$^{٣}$ ولها تحمل ميكانيكي أكثر من ١٢٠ كجم / سم$^{٢}$.

**قياس التجربة:**

| Dry specimen before compression | Dry specimen after compression | Fired specimen before compression | Fired Specimen after 1100 °C |
|---|---|---|---|
| | | | |

**شكل رقم (١)**

اختبار القوة الميكانيكية للتركيبة الحرارية رقم (١) عند ١١٠ م° و عند ١١٠٠ م°

**النتائج**: توصلت إلى تركيبة حرارية تتحمل الحرارة حتى ١٤٥٠ م ° و ذات كثافة (٢:٢,١) جم/سم٣ ولها تحمل ميكانيكي أكثر من ٢٢٠ كجم /سم٢.

**المناقشة:**

أتضح من التركيبة السابقة أن الكثافة عند درجة حرارة ١١٠ م ° هي ٢,١ جم / سم ٣ والكثافة عند ١١٠٠ م ° هي ٢,٠٠١ جم / سم ٣ وأن هذه الكثافة تحقق هدف التجربة وبما يحقق عدم تفتت القالب أوانهيار أجزاءه عند درجة حرارة التشكيل، وأتضح أن قوتها الميكانيكية عند ١١٠٠ م° تتحمل ٢١٥,٩٢ كجم / سم٣ وهي أيضا تحقق هدف التجربة، كما أن معامل الانكماش لها منخفض ٠,١: ٠,٣ مم بما يحقق مواصفات تصميم المنتج من ناحية ومن أخرى يحقق كفاءة التنفيذ.

مما سبق تبين لنا في التجربة أن هذه التركيبة الحرارية تلائم قوالب تشكيل الزجاج بالنفخ اليدوي.

**<u>التركيبة رقم ٢:</u>** (٣)

**المكونات :**

٦٠% من الالومينا +٤٥,٣٣ % من السيليكا + ١,١% من أكسيد الحديد الثنائي + ٢,٢% من أكسيد التيتانيوم + ٢,٣ % من أكسيد الكالسيوم + ٠,١% من أكسيد المغنسيوم + ٠,١% من أكسيدي الصوديوم والبوتاسيوم. والحجم الحبيبي للتركيبة ٠-٦ مم

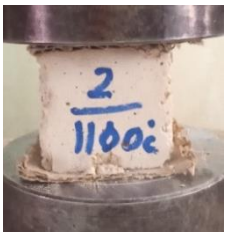
**الهدف من التجربة:**

الحصول علي تركيبة حرارية تتحمل الحرارة العالية أكثر من ١٢٠٠ م° وذات كثافة من ٢,٩:١,٩ جرام /سم٣ ولها تحمل ميكانيكي أكثر من ١٢٠ كجم / سم٢

**النتائج:**

توصلت إلى تركيبة حرارية تتحمل الحرارة حتى ١٤٥٠ م ° و ذات كثافة (٢:٢,١) جم/سم٣ ولها تحمل ميكانيكي أكثر من ٢٢٠ كجم /سم٢.

**قياس التجربة:**

| Dry specimen before compression | Dry specimen after compression | Fired specimen before compression | Fired Specimen after 1100 °C |
|---|---|---|---|
| | |  | |

**شكل رقم (٢)**

اختبار القوة الميكانيكية للتركيبة الحرارية رقم (٢) عند ١١٠ م° و عند ١١٠٠ م°

**النتائج:** توصلت إلى تركيبة حرارية تتحمل الحرارة حتى ١٤٥٠ م°و ذات كثافة (٢,٠٦:١,٩٠٥) جم/سم٣ ولها تحمل ميكانيكي (٢٩٥:٢٦٠) كجم /سم٢

**المناقشة:**

أتضح أن الكثافة عند درجة حرارة ١١٠ م° هي ٢,٠٦ جم / سم٣ والكثافة عند ١١٠٠ م° هي ١,٩ جم / سم٣ وان هذه الكثافة تحقق هدف التجربة وبما يحقق عدم تفتت القالب أوانهيار أجزاءه عند درجة حرارة التشكيل، وأتضح أن قوتها الميكانيكية عند ١١٠٠ م° هي ٢٩٥,٨١ كجم / سم٣ وهي أيضا تحقق هدف التجربة، كما أن معامل الانكماش لها منخفض بما يحقق مواصفات تصميم المنتج من ناحية ومن أخرى يحقق كفاءة التنفيذ.

مما سبق وتبين لنا في التجربة أن هذه التركيبة الحرارية قد تلائم قوالب تشكيل الزجاج بالنفخ اليدوي.

**التركيبة رقم ٣: (٤)**

**المكونات :** ٧٠% من الالومينا +٢٢,٦٥% من السيليكا + ١,٢٥% من أكسيد الحديد الثنائي + ٣% من أكسيد التيتانيوم + ٢,٥ % من أكسيد الكالسيوم + ٠,١% من أكسيد المغنسيوم + ٠,٥% من أكسيدي الصوديوم والبوتاسيوم. والحجم الحبيبي للتركيبة ٠-٦ مم

**الهدف من التجربة:**

الحصول علي تركيبة حرارية تتحمل الحرارة العالية أكثر من ١٢٠٠ م° وذات كثافة من ٢,٩:١,٩ جرام /سم٣ ولها تحمل ميكانيكي أكثر من ١٢٠ كجم / سم٢

**قياس التجربة:**

| Dry specimen before compression | Dry specimen after compression | Fired specimen before compression | Fired Specimen after 1100 °C |
|---|---|---|---|
| | | | |

**شكل رقم (٣)**

اختبار القوة الميكانيكية للتركيبة الحرارية رقم (٣) عند ١١٠ م° و عند ١١٠٠ م°

**النتائج**: توصلت إلى تركيبة حرارية تتحمل الحرارة حتى ١٥٥٠ م°و ذات كثافة (٢,٤٢:٢,٢١) جم/سم$^{٣}$ ولها تحمل ميكانيكي (٣٤٠:٢٦١) كجم /سم$^{٢}$.

**المناقشة:**

أتضح أن الكثافة عند درجة حرارة ١١٠ م° هي ٢,٤٢ جم / سم $^{٣}$ والكثافة عند ١١٠٠ م° هي ٢,٢١ جم / سم $^{٣}$ وان هذه الكثافة تحقق هدف التجربة وبما يحقق عدم تفتت أجزاء القالب أوانهيار أجزاءه عند درجة حرارة التشكيل، وأتضح أن قوتها الميكانيكية تتحمل ٢٦١,٤ كجم / سم$^{٣}$ وهي أيضا تحقق هدف التجربة، كما أن معامل الانكماش لها منخفض بما يحقق مواصفات تصميم المنتج من ناحية ومن أخرى يحقق كفاءة التنفيذ.

مما سبق وتبين لنا في التجربة أن هذه التركيبة الحرارية تلائم قوالب تشكيل الزجاج بالنفخ اليدوي.

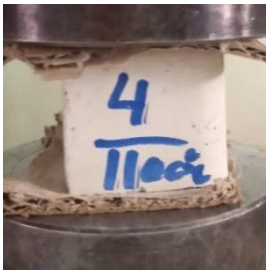
**التركيبة رقم ٤: (٥)**

**المكونات :** ٨٠% من الالومينا +١٢% من السيليكا + ٣,١% من أكسيد الحديد الثنائي + ٢,٣% من أكسيد التيتانيوم + ٢,٣ % من أكسيد الكالسيوم + ٠,١% من أكسيد المغنسيوم + ٠,٢% من أكسيدي الصوديوم والبوتاسيوم، والحجم الحبيبي للتركيبة ٠-٦ مم.

**الهدف من التجربة:**

الحصول علي تركيبة حرارية تتحمل الحرارة العالية أكثر من ١٢٠٠ م° وذات كثافة من ٢,٩:١,٩ جرام /سم$^{٣}$ ولها تحمل ميكانيكي أكثر من ١٢٠ كجم / سم$^{٢}$.

**قياس التجربة:**

| Dry specimen before compression | Dry specimen after compression | | Fired specimen before compression | Fired Specimen after 1100 °C |
|---|---|---|---|---|
| | | |  | |

**شكل رقم (٤)**

اختبار القوة الميكانيكية للتركيبة الحرارية رقم (٤) عند ١١٠ م° و عند ١١٠٠ م°

■ **النتائج**: توصلت إلى تركيبة حرارية تتحمل الحرارة حتى ١٧٥٠ م °و ذات كثافة (٢,٦٢:٢,٤٤) جم/سم٣ ولها تحمل ميكانيكي (٣٠٠:٣٧٦) كجم /سم٢

■ **المناقشة:**

أتضح أن الكثافة عند درجة حرارة ١١٠ م ° هي ٢,٦٢ جم / سم ٣ والكثافة عند ١١٠٠ م ° هي ٢,٤٤ جم / سم ٣ وان هذه الكثافة تحقق هدف التجربة وبما يحقق عدم تفتت أجزاء القالب أوانهيار أجزاءه عند درجة حرارة التشكيل، وأتضح أن قوتها الميكانيكية تتحمل ٣٠٠,٥٥ كجم / سم٣ وهي أيضا تحقق هدف التجربة، كما أن معامل الانكماش لها منخفض بما يحقق مواصفات تصميم المنتج من ناحية ومن أخرى يحقق كفاءة التنفيذ.

مما سبق وتبين لنا في التجربة أن هذه التركيبة الحرارية تلائم قوالب تشكيل الزجاج بالنفخ اليدوي.

▪ **التركيبة رقم ٥:** (٦)

■ **المكونات :** ٩٠% من الالومينا +٩,٣٩% من السيليكا + ٠,٢% من أكسيد الحديد الثنائي + ٠,١% من أكسيد التيتانيوم + ٠,١ % من أكسيد الكالسيوم + ٠,١% من أكسيد المغنسيوم + ٠,٢% من أكسيدي الصوديوم والبوتاسيوم، والحجم الحبيبي للتركيبة ٠-٦ مم

■ **الهدف من التجربة:**

الحصول علي تركيبة حرارية تتحمل الحرارة العالية أكثر من ١٢٠٠ م° وذات كثافة من ٢,٩:١,٩ جرام /سم٣ ولها تحمل ميكانيكي أكثر من ١٢٠ كجم / سم٢.

■ **قياس التجربة:**

**شكل رقم (٥)**

| Dry specimen before compression | Dry specimen after compression | Fired specimen before compression | Fired Specimen after 1100 °C |
|---|---|---|---|
| | | | |

اختبار القوة الميكانيكية للتركيبة الحرارية رقم (٥) عند ١١٠ م° و عند ١١٠٠ م°

**النتائج**: توصلت إلى تركيبة حرارية تتحمل الحرارة حتى ١٧٨٠ م ° و ذات كثافة (٢,٧٦:٢,٥١) جم/سم٣ ولها تحمل ميكانيكي أكثر من ٢٢٠ كجم /سم٢

**المناقشة:**

أتضح أن الكثافة عند درجة حرارة ١١٠ م ° هي ٢,٧٦ جم / سم ٣ والكثافة عند ١١٠٠ م °هي ٢,١ جم / سم ٣ وان هذه الكثافة تحقق هدف التجربة وبما يحقق عدم تفتت أجزاء القالب أوانهيار أجزاءه عند درجة حرارة التشكيل، وأتضح أن قوتها الميكانيكية تتحمل ٣٥٠,٥٥ كجم / سم٣ وهي أيضا تحقق هدف التجربة، كما أن معامل الانكماش لها منخفض بما يحقق مواصفات تصميم المنتج من ناحية ومن أخرى يحقق كفاءة التنفيذ.

مما سبق وتبين لنا في التجربة أن هذه التركيبة الحرارية قد تلائم قوالب تشكيل الزجاج بالنفخ اليدوي.

**التركيبة رقم ٦: (٧)**

**المكونات :**

٨٠٠ جرام من حبيبات الالومينا +٣٥٠ جرام من الكسر الحراري مختلف المقاسات +٨٠٠ جرام من الكاولين +٣٨٠جرام من الاسمنت الحراري +٢٠ جرام من الألياف السيراميكية.والحجم الحبيبي للتركيبة ٠-٦ مم

**الهدف من التجربة:**

الحصول علي تركيبة حرارية تتحمل الحرارة العالية أكثر من ١٢٠٠ م° وذات كثافة من ٢,٩:١,٩ جرام /سم ٣ولها تحمل ميكانيكي أكثر من ١٢٠ كجم / سم٢.

**قياس التجربة:**

| Dry specimen before compression | Dry specimen after compression | Fired specimen before compression | Fired Specimen after 1100 °C |
|---|---|---|---|
| | | | |

**شكل رقم (٦)**

اختبار القوة الميكانيكية للتركيبة الحرارية رقم (٦) عند ١١٠ م° و عند ١١٠٠ م°

**النتائج**: توصلت إلى تركيبة حرارية تتحمل الحرارة حتى ١٣٠٠ م °و ذات كثافة (١,٤:١,٣٢) جم/سم٣ ولها تحمل ميكانيكي أكثر من ٢٢٠ كجم /سم٢.

**المناقشة:**

أتضح أن الكثافة عند درجة حرارة ١١٠ م ° هي ١,٤ جم / سم ٣ والكثافة عند ١١٠٠ م°هي ١,٣٢ جم / سم ٣ وان هذه الكثافة تحقق هدف التجربة وبما يحقق عدم تفتت أجزاء القالب أوانهيار أجزاءه عند درجة حرارة التشكيل، وأتضح أن قوتها الميكانيكية تتحمل ١٠,٥/ سم٣ وهي أيضا تحقق هدف التجربة، كما أن معامل الانكماش لها منخفض بما يحقق مواصفات تصميم المنتج من ناحية ومن أخرى يحقق كفاءة التنفيذ.

مما سبق وتبين لنا في التجربة أن هذه التركيبة الحرارية لا تلائم قوالب تشكيل الزجاج بالنفخ اليدوي.

**التركيبة رقم ٧:** [٨]

**المكونات :**

١٠٠٠ جرام من حبيبات الالومينا +٣٥٠ جرام من الكسر الحراري مختلف المقاسات +٨٠٠ جرام من الكاولين +٣٨٠جرام من الاسمنت الحراري +٢٠ جرام من الألياف السيراميكية والحجم الحبيبي للتركيبة ٠-٦ مم

**الهدف من التجربة:**

الحصول علي تركيبة حرارية تتحمل الحرارة العالية أكثر من ١٢٠٠ م° وذات كثافة من ٢,٩:١,٩ جرام /سم٣ ولها تحمل ميكانيكي أكثر من ١٢٠ كجم / سم٢

**قياس التجربة:**

| Dry specimen before compression | Dry specimen after compression | Fired specimen before compression | Fired Specimen after 1100 °C |
|---|---|---|---|
| | | | |

**شكل رقم (٧)**

اختبار القوة الميكانيكية للتركيبة الحرارية رقم (٧) عند ١١٠ م° و عند ١١٠٠ م°

**النتائج**: توصلت إلى تركيبة حرارية تتحمل الحرارة حتى ١٣٥٠ م°و ذات كثافة (١,٢٨:١,٢) جم/سم٣ ولها تحمل ميكانيكي أكثر من ٢٢٠ كجم /سم٢.

**المناقشة:**

أتضح أن الكثافة عند درجة حرارة ١١٠ م° هي ١,٢٨ جم / سم ٣ والكثافة عند ١١٠٠ م° هي ١,٢ جم / سم ٣ وان هذه الكثافة تحقق هدف التجربة وبما يحقق عدم تفتت أجزاء القالب أوانهيار أجزاءه عند درجة حرارة التشكيل، وأتضح أن قوتها الميكانيكية تتحمل ١٦٩,٧٨ كجم / سم٣ وهي أيضا تحقق هدف التجربة، كما أن معامل الانكماش لها منخفض بما يحقق مواصفات تصميم المنتج من ناحية ومن أخرى يحقق كفاءة التنفيذ.

مما سبق وتبين لنا في التجربة أن هذه التركيبة الحرارية لا تلائم قوالب تشكيل الزجاج بالنفخ اليدوي.

**التركيبة رقم ٨:**

**المكونات:**

١٠٠٠ جرام من حبيبات الالومينا +١٢٠٠ جرام من الكسر الحراري مختلف المقاسات +٩٠٠ جرام من الكاولين +٣٨٠جرام من الاسمنت الحراري +٢٠ جرام من الألياف السيراميكية والحجم الحبيبي للتركيبة ٠-٦ مم

**الهدف من التجربة:**

الحصول علي تركيبة حرارية تتحمل الحرارة العالية أكثر من ١٢٠٠ م° وذات كثافة من ٢,٩:١,٩ جرام /سم٣ ولها تحمل ميكانيكي أكثر من ١٢٠ كجم / سم٢.

**قياس التجربة:**

| Dry specimen before compression | Dry specimen after compression | Fired specimen before compression | Fired Specimen after 1100 °C |
|---|---|---|---|
| | | | |

**شكل رقم (٨)**

اختبار القوة الميكانيكية للتركيبة الحرارية رقم (٨) عند ١١٠ م° و عند ١١٠٠ م°

**النتائج**: توصلت إلى تركيبة حرارية تتحمل الحرارة حتى ١٤٠٠ م °و ذات كثافة (١,٦٤:١,٥٥) جم/سم٣ ولها تحمل ميكانيكي (٥,١:٣,٢) كجم /سم٢

**المناقشة :**

أتضح أن الكثافة عند درجة حرارة ١١٠ م °هي ١,٦٤ جم / سم ٣ والكثافة عند ١١٠٠ م°هي ١,٥٥ جم / سم ٣ وان هذه الكثافة تحقق هدف التجربة وبما يحقق عدم تفتت أجزاء القالب أوانهيار أجزاءه عند درجة حرارة التشكيل، وأتضح أن قوتها الميكانيكية تتحمل ٣,٢٦ كجم / سم٣ وهي أيضا تحقق هدف التجربة، كما أن معامل الانكماش لها منخفض بما يحقق مواصفات تصميم المنتج من ناحية ومن أخرى يحقق كفاءة التنفيذ.

مما سبق وتبين لنا في التجربة أن هذه التركيبة الحرارية لا تلائم قوالب تشكيل الزجاج بالنفخ اليدوي.

**التركيبة رقم ٩:**

**المكونات :**

٣٠%من الالومينا +٣٥% من الاسمنت الحراري +٢٥% من الكسر الحراري +١٠% من الكاولين المكلسن والحجم الحبيبي للتركيبة ٠-٦ مم

**الهدف من التجربة:**

الحصول علي تركيبة حرارية تتحمل الحرارة العالية أكثر من ١٢٠٠ م° وذات كثافة من ٢,٩:١,٩ جرام /سم٣ ولها تحمل ميكانيكي أكثر من ١٢٠ كجم / سم٢.

**قياس التجربة:**

| Dry specimen before compression | Dry specimen after compression | Fired specimen before compression | Fired Specimen after 1100 °C |
|---|---|---|---|
| | | | |

**شكل رقم (٩)**

اختبار القوة الميكانيكية للتركيبة الحرارية رقم (٩) عند ١١٠ م° و عند ١١٠٠ م°

**النتائج**: توصلت إلى تركيبة حرارية تتحمل الحرارة حتى ١٤٥٠ م°و ذات كثافة (١,٩:٢,٠٧) جم/سم٣ ولها تحمل ميكانيكي (٦,٦:٣,٨) كجم /سم٢

**المناقشة:**

أتضح أن الكثافة عند درجة حرارة ١١٠ م° هي ٢,٠٧ جم / سم ٣ والكثافة عند ١١٠٠ م° هي ١,٩ جم / سم ٣ وان هذه الكثافة تحقق هدف التجربة وبما يحقق عدم تفتت أجزاء القالب أوانهيار أجزاءه عند درجة حرارة التشكيل، وأتضح أن قوتها الميكانيكية تتحمل ٣,٨ كجم / سم٣ وهي أيضا تحقق هدف التجربة، كما أن معامل الانكماش لها منخفض بما يحقق مواصفات تصميم المنتج من ناحية ومن أخرى يحقق كفاءة التنفيذ.

مما سبق وتبين لنا في التجربة أن هذه التركيبة الحرارية لا تلائم قوالب تشكيل الزجاج بالنفخ اليدوي.

**التركيبة رقم ١٠:**

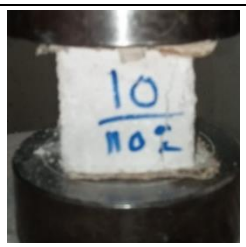
**المكونات:**

٣٥%من الالومينا +٣٥% من الاسمنت الحراري +٢٠% من الكسر الحراري +١٠% من الكاولين المكلسن والحجم الحبيبي للتركيبة ٠-٦ مم

**الهدف من التجربة:**

الحصول علي تركيبة حرارية تتحمل الحرارة العالية أكثر من ١٢٠٠ م° وذات كثافة من ٢,٩:١,٩ جرام /سم٣ ولها تحمل ميكانيكي أكثر من ١٢٠ كجم / سم٢

**قياس التجربة:**

| Dry specimen before compression | Dry specimen after compression | Fired specimen before compression | Fired Specimen after 1100 °C |
|---|---|---|---|
|  | | | |

**شكل رقم (١٠)**

اختبار القوة الميكانيكية للتركيبة الحرارية رقم (١٠) عند ١١٠ م° و عند ١١٠٠ م°

**النتائج**: توصلت إلى تركيبة حرارية تتحمل الحرارة حتى ١٣٠٠ م°و ذات كثافة (١,٨:١,٤) جم/سم٣ ولها تحمل ميكانيكي (٧,١:٣,٩٩) كجم /سم٢

**المناقشة:**

أتضح أن الكثافة عند درجة حرارة ١١٠ م°هي ١,٨٧ جم / سم ٣ والكثافة عند ١١٠٠ م°هي١,٤١٥ جم / سم ٣ وان هذه الكثافة تحقق هدف التجربة وبما يحقق عدم تفتت أجزاء القالب أوانهيار أجزاءه عند درجة حرارة التشكيل، وأتضح أن قوتها الميكانيكية تتحمل ٧,١ كجم / سم٣ وهي أيضا تحقق هدف التجربة، كما أن معامل الانكماش لها منخفض بما يحقق مواصفات تصميم المنتج من ناحية ومن أخرى يحقق كفاءة التنفيذ.

مما سبق وتبين لنا في التجربة أن هذه التركيبة الحرارية لا تلائم قوالب تشكيل الزجاج بالنفخ اليدوي.

**التركيبة رقم ١١:**

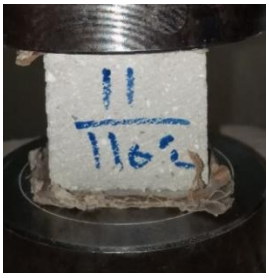
**المكونات :**

٢٥%من الالومينا +٣٥% من الاسمنت الحراري +٣٥% من الكسر الحراري +٥% من الكاولين المكلسن والحجم الحبيبي للتركيبة ٠-٦ مم

**الهدف من التجربة:**

الحصول علي تركيبة حرارية تتحمل الحرارة العالية أكثر من ١٢٠٠ م° وذات كثافة من ١,٩:٢,٩ جرام /سم$^{٣}$ ولها تحمل ميكانيكي أكثر من ١٢٠ كجم / سم$^{٢}$.

**قياس التجربة:**

| Dry specimen before compression | Dry specimen after compression | Fired specimen before compression | Fired Specimen after 1100 °C |
|---|---|---|---|
|  | | | |

**شكل رقم (١١)**

اختبار القوة الميكانيكية للتركيبة الحرارية رقم (١١) عند ١١٠ م° و عند ١١٠٠ م°

**النتائج**: توصلت إلى تركيبة حرارية تتحمل الحرارة حتى ١٣٠٠ م°و ذات كثافة (١,٨٤:١,٨٦) جم/سم$^{٣}$ ولها تحمل ميكانيكي (٦,٨:٧,٢) كجم /سم$^{٢}$

**المناقشة:**

أتضح أن الكثافة عند درجة حرارة ١١٠ م°هي ١,٨٤ جم / سم $^{٣}$ والكثافة عند ١١٠٠ م°هي ١,٨٦ جم / سم $^{٣}$ وان هذه الكثافة تحقق هدف التجربة وبما يحقق عدم تفتت أجزاء القالب أوانهيار أجزاءه عند درجة حرارة التشكيل، وأتضح أن قوتها الميكانيكية تتحمل ٦,٨٧ كجم / سم$^{٣}$ وهي أيضا تحقق هدف التجربة، كما أن معامل الانكماش لها منخفض بما يحقق مواصفات تصميم المنتج من ناحية ومن أخرى يحقق كفاءة التنفيذ.

مما سبق وتبين لنا في التجربة أن هذه التركيبة الحرارية لا تلائم قوالب تشكيل الزجاج بالنفخ اليدوي.

**التركيبة رقم ١٢:**

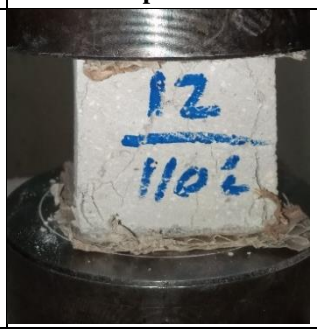
**المكونات :**

٢٠%من الالومينا +٣٥% من الاسمنت الحراري +٤٠% من الكسر الحراري +٥% من الكاولين المكلسن والحجم الحبيبي للتركيبة ٠-٦ مم

**الهدف من التجربة:**

الحصول علي تركيبة حرارية تتحمل الحرارة العالية أكثر من ١٢٠٠ م° وذات كثافة من ١,٩:٢,٩ جرام /سم$^{٣}$ ولها تحمل ميكانيكي أكثر من ١٢٠ كجم / سم$^{٢}$.

**قياس التجربة:**

| Dry specimen before compression | Dry specimen after compression | Fired specimen before compression | Fired Specimen after 1100 °C |
|---|---|---|---|
| |  | | |

**شكل رقم (١٢)**

اختبار القوة الميكانيكية للتركيبة الحرارية رقم (١٢) عند ١١٠ م° و عند ١١٠٠ م°

**النتائج**: توصلت إلى تركيبة حرارية تتحمل الحرارة حتى ١٣٠٠ م° و ذات كثافة (١,٨٥:١,٦٨) جم/سم٣ ولها تحمل ميكانيكي (٧,٥٨:١,٥٩) كجم /سم٢

**المناقشة:**

أتضح أن الكثافة عند درجة حرارة ١١٠ م° هي ١١٠ جم / سم ٣ والكثافة عند ١١٠٠ م° هي ٢,١ جم / سم ٣. وان هذه الكثافة تحقق هدف التجربة وبما يحقق عدم تفتت أجزاء القالب أوانهيار أجزاءه عند درجة حرارة التشكيل، وأتضح ان قوتها الميكانيكية تتحمل ١٦٩,٧٨ كجم / سم٣ وهي أيضا تحقق هدف التجربة، كما أن معامل الانكماش لها منخفض بما يحقق مواصفات تصميم المنتج من ناحية ومن أخرى يحقق كفاءة التنفيذ.

مما سبق وتبين لنا في التجربة أن هذه التركيبة الحرارية لا تلائم قوالب تشكيل الزجاج بالنفخ اليدوي.

**<u>التركيبة رقم ١٣</u>:**

**المكونات :**

٢٠%من الالومينا +٣٥% من الاسمنت الحراري +٤٠% من الكسر الحراري +٥% من الكاولين المكلسن والحجم الحبيبي للتركيبة ٠-٦ مم

**الهدف من التجربة:**

الحصول علي تركيبة حرارية تتحمل الحرارة العالية أكثر من ١٢٠٠ م° وذات كثافة من ٢,٩:١,٩ جرام /سم٣ ولها تحمل ميكانيكي أكثر من ١٢٠ كجم / سم٢

**قياس التجربة:**

| Dry specimen before compression | Dry specimen after compression | Fired specimen before compression | Fired Specimen after 1100 °C |
|---|---|---|---|
| | | | |

**شكل رقم (١٣)**

اختبار القوة الميكانيكية للتركيبة الحرارية رقم (١٣) عند ١١٠ م° و عند ١١٠٠ م°

**النتائج**: توصلت إلى تركيبة حرارية تتحمل الحرارة حتى ١٣٥٠ م °و ذات كثافة (٢,١٧:١,٨٤) جم/سم٣ ولها تحمل ميكانيكي (٦,٣:٥,٩) كجم /سم٢

**المناقشة:**

أتضح أن الكثافة عند درجة حرارة ١١٠ م°هي ٢,١٧ جم / سم ٣ والكثافة عند ١١٠٠ م° هي ١,٨٤ جم / سم ٣ وان هذه الكثافة تحقق هدف التجربة وبما يحقق عدم تفتت أجزاء القالب أوانهيار أجزاءه عند درجة حرارة التشكيل، وأتضح أن قوتها الميكانيكية تتحمل ٦,٣٧ كجم / سم٣ وهي أيضا تحقق هدف التجربة، كما أن معامل الانكماش لها منخفض بما يحقق مواصفات تصميم المنتج من ناحية ومن أخرى يحقق كفاءة التنفيذ.

مما سبق وتبين لنا في التجربة أن هذه التركيبة الحرارية لا تلائم قوالب تشكيل الزجاج بالنفخ اليدوي.

**<u>التركيبة رقم ١٤:</u>**

**المكونات :**

٥٠٠ جرام من الالومينا +٥٣٠ جرام من الكاولين +١٢٧٥ جرام من الكسر الحراري +٥٢٠ جرام من الجبس والحجم الحبيبي للتركيبة ٠-٦ مم

**الهدف من التجربة:**

الحصول علي تركيبة حرارية تتحمل الحرارة العالية أكثر من ١٢٠٠ م° وذات كثافة من ٢,٩:١,٩ جرام /سم٣ ولها تحمل ميكانيكي أكثر من ١٢٠ كجم / سم٢

**قياس التجربة:**

| Dry specimen before compression | Dry specimen after compression | Fired specimen before compression | Fired specimen after C –١١٠٠ compression |
|---|---|---|---|
| | | | |

**شكل رقم (١٤)**

اختبار القوة الميكانيكية للتركيبة الحرارية رقم (١٤) عند ١١٠ م° و عند ١١٠٠ م°

**لنتائج**: توصلت إلى تركيبة حرارية تتحمل الحرارة حتى ١٢٥٠ م °و ذات كثافة (١,٧٧:١,٦٥) جم/سم٣ ولها تحمل ميكانيكي (١,٤٥:١,٢) كجم /سم٢

**المناقشة :**

أتضح أن الكثافة عند درجة حرارة ١١٠ م° هي ١,٧٧ جم / سم ٣ والكثافة عند ١١٠٠ م° هي ١,٦٥ جم / سم ٣ وان هذه الكثافة تحقق هدف التجربة وبما يحقق عدم تفتت أجزاء القالب أوانهيار أجزاءه عند درجة حرارة التشكيل، وأتضح أن قوتها الميكانيكية تتحمل ١,٤ كجم / سم٣ وهي أيضا تحقق هدف التجربة، كما أن معامل الانكماش لها منخفض بما يحقق مواصفات تصميم المنتج من ناحية ومن أخرى يحقق كفاءة التنفيذ.

مما سبق وتبين لنا في التجربة أن هذه التركيبة الحرارية لا تلائم قوالب تشكيل الزجاج بالنفخ اليدوي.

**التركيبة رقم ١٥:**

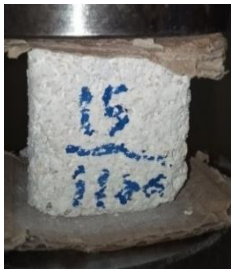
**المكونات :**

٥٠٠ جرام من الالومينا +٥٥٠ جرام من الكاولين +١٣٠٠ جرام من الكسر الحراري +١٠٠جرام من الجبس والحجم الحبيبي للتركيبة ٠-٦ مم

**الهدف من التجربة:**

الحصول علي تركيبة حرارية تتحمل الحرارة العالية أكثر من ١٢٠٠ م° وذات كثافة من ٢,٩:١,٩ جرام /سم٣ ولها تحمل ميكانيكي أكثر من ١٢٠ كجم / سم٢

**قياس التجربة:**

| Dry specimen before compression | Dry specimen after compression | Fired specimen before compression | Fired Specimen after 1100 °C |
|---|---|---|---|
| | |  | |

**شكل رقم (١٥)**

اختبار القوة الميكانيكية للتركيبة الحرارية رقم (١٥) عند ١١٠ م° و عند ١١٠٠ م°

**النتائج**: توصلت إلى تركيبة حرارية تتحمل الحرارة حتى ١٣٠٠ م °و ذات كثافة (١,٣٣:١,٢٣) جم/سم٣ ولها تحمل ميكانيكي (٣,٣:٠,٥٩) كجم /سم٢

**المناقشة:**

أتضح أن الكثافة عند درجة حرارة ١١٠ م° هي ١,١٣ جم / سم ٣ والكثافة عند ١١٠٠ م ° هي ١,٢٣ جم / سم٣ وأن هذه الكثافة تحقق هدف التجربة وبما يحقق عدم تفتت أجزاء القالب أوانهيار أجزاءه عند درجة حرارة التشكيل، وأتضح أن قوتها

الميكانيكية تتحمل ٣,٣ كجم / سم$^{٣}$ وهي أيضا تحقق هدف التجربة، كما أن معامل الانكماش لها منخفض بما يحقق مواصفات تصميم المنتج من ناحية ومن أخرى يحقق كفاءة التنفيذ.

مما سبق وتبين لنا في التجربة أن هذه التركيبة الحرارية لا تلائم قوالب تشكيل الزجاج بالنفخ اليدوي.

**التركيبة رقم ١٦:**

**المكونات :**

٩٠% من الالومينا + ١٠% من الاسمنت الحراري. والحجم الحبيبي للتركيبة ٠-٣مم

**الهدف من التجربة:**

الحصول علي تركيبة حرارية تتحمل الحرارة العالية أكثر من ١٢٠٠ م° وذات كثافة من ٢,٩:١,٩ جرام /سم$^{٣}$ ولها تحمل ميكانيكي أكثر من ١٢٠ كجم / سم$^{٢}$

**قياس التجربة:**

| Dry specimen before compression | Dry specimen after compression | Fired specimen before compression | Fired Specimen after 1100 °C |
|---|---|---|---|
| | | | |

**شكل رقم (١٦)**

اختبار القوة الميكانيكية للتركيبة الحرارية رقم (١٦) عند ١١٠ م° و عند ١١٠٠ م°

**النتائج**: توصلت إلى تركيبة حرارية تتحمل الحرارة حتى ١٥٠٠ م°و ذات كثافة (١,٦:١,٦٤) جم/سم$^{٣}$ ولها تحمل ميكانيكي (١,٨٨:٠,٥٩٤) كجم /سم

**المناقشة:**

أتضح أن الكثافة عند درجة حرارة ١١٠ م° هي ١١٠ جم / سم $^{٣}$ والكثافة عند ١١٠٠ م$^{O}$ هي ٢,١ جم / سم $^{٣}$ وان هذه الكثافة تحقق هدف التجربة وبما يحقق عدم تفتت أجزاء القالب أوانهيار أجزاءه عند درجة حرارة التشكيل، وأتضح أن قوتها الميكانيكية تتحمل (١,٨٨:٠,٥٩٤) كجم / سم$^{2}$ وهي أيضا تحقق هدف التجربة، كما أن معامل الانكماش لها منخفض بما يحقق مواصفات تصميم المنتج من ناحية ومن أخرى يحقق كفاءة التنفيذ.

مما سبق تبين لنا في التجربة أن هذه التركيبة الحرارية لا تلائم قوالب تشكيل الزجاج بالنفخ اليدوي.

**جدول رقم ( ٢ ) التركيبات الحراريه المعملية لقوالب تشكيل الزجاج بالنفخ اليدوي.**

| Sample / $^{O}C$ | Dimensions (cm) | | | Area ($mm^2$) | Volume ($cm^3$) | Weight (g) | Bulk density ($g/cm^3$) | PLC | Machine reading | Cold crushing strength | | Working temp. $^{O}C$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | X | Y | Z | | | | | | N | M Pa | $Kg/cm^2$ | |
| **1 -110 $^{O}C$** | 5.01 | 5.04 | 4.35 | 2525.04 | 107.31 | 229.37 | 2.1 | **0.1** | ٤٤٩٣٠ | ١٧,٧٩ | ٢٢٠,٣٣ | **1450** |
| **1 -1100 $^{O}C$** | 5.3 | ٥,١ | ٤,٣ | 2703 | 113.52 | 227.62 | 2.001 | **0.1: -0.3** | 40600 | 16.65 | ٢١٥,٩٢ | **1450** |
| **2-110$^{O}C$** | ٥,٠٣ | ٤,٦ | ٤,٩ | ٢٣١٣,٨ | ١١٣,٣٧ | ٢٣٤,٥٤ | ٢,٠٦ | **0.12** | ٤٠٨٠٠ | ١٧,٦٣ | ٢٩٥,٨١ | **1450** |
| **2-1100$^{O}C$** | ٤,٨ | ٥,٠٨ | ٤,٩ | ٢٤٣٨,٤ | ١١٩,٤٨ | ٢٢٧,٦٣ | ١,٩٠٥ | **-02: -0.3** | ٤٠٦٦٠ | ١٦,٦٥ | ٢٦٠,٩١ | **١٤٥٠** |
| **3-110$^{O}C$** | ٥,٠٧ | ٥,١ | ٥,١ | ٢٥٨٥,٧ | ١٣١,٨٧ | ٣٢٠,٣٣ | ٢,٤٢ | **0.14** | ٨٦٢٥٠ | ٣٣,٣٥ | ٣٤٠,١٤ | **1550** |
| **3-1100$^{O}C$** | ٥,٥ | ٥ | ٤,٦٥ | ٢٧٥٠ | ١٢٧,٨٧ | ٢٨٢,.٦٣ | ٢,٢١ | **0.2: -0.9** | ٧٠٥٠٠ | ٢٥,٦٣ | ٢٦١,٤ | **١٥٥٠** |
| **4-110$^{O}C$** | ٥,٠١ | ٤,٨ | ٤,٤٥ | ٢٤٠٤,٨ | ١٠٧,٠١٣ | ٢٨٦,٥٦ | ٢,٦٢ | **0.147** | ٨٨٩٠٠ | ٣٦,٩٦ | ٣٧٦,٩٦ | **1750** |
| **4-1100$^{O}C$** | ٥,١١ | ٤,٩١ | ٤,٤ | ٢٥٠٩,٠١ | ١١٠,٣٩ | ٢٧٠,٠٤ | ٢,٤٤ | **-03: -0.9** | ٣٠١٥٠ | ١٢,٠١ | ٣٠٠,٥٥ | **١٧٥٠** |
| **5-110$^{O}C$** | ٥,٠٧ | ٤,٨ | ٤,٣٣ | ٢٤٣٣,٦ | ١٠٥,٣٧ | ٢٩١,٧١ | ٢,٧٦٨ | **0.149** | ٩٠٤٤٠ | ٣٧,١٦ | ٤٠٠,٣ | **1780** |
| **5-1100$^{O}C$** | ٤,٠٩ | ٥,٠١ | ٤,٣٣ | ٢٤٦٤,٩٢ | ١٠٦,٧٣ | ٢٦٨,٤ | ٢,٥١ | **0.1: -0.2** | ٦٠٩٥٥ | ٢٤,٧٢ | ٣٥٠,٥٥ | **١٧٨٠** |
| **6-110$^{O}C$** | ٥,١ | ٥,١٣ | ٥,١٢ | ٢٦١٦,٣ | ١٣٣,٩٥ | ١٨٨,٠٣ | ١,٤ | **0.15** | ١٠١٥٠ | ٣,٨٧ | ٣٩,٥٦ | **1300** |
| **6-1100$^{O}C$** | ٤,٩٩ | ٤,٩٤ | ٥,٢ | ٢٤٦٥,٠٦ | ١٢٨,١٨ | ١٦٩,٥٢ | ١,٣٢٢ | **0.4: -0.5** | ٢٤٣٠ | ٠,٩٨٥ | ١٠,٠٥ | **١٣٠٠** |
| **7-110$^{O}C$** | 5.13 | 5.04 | 5.23 | 2585.5 | 133.22 | 173.39 | 1.28 | **0.16** | 9680 | 3.74 | 38.17 | **1350** |
| **7-1100$^{O}C$** | 5.01 | 5.05 | 5.19 | 2530.05 | 131.05 | 158.58 | 1.2 | **0.6: -0.7** | 995 | 0.393 | 10.1 | **1350** |
| **8-110$^{O}C$** | 5.03 | 4.9 | 5.5 | 2464.7 | 135.55 | 223.29 | 1.64 | **0.21** | 1250 | 0.5 | 5.17 | **1400** |
| **8-1100$^{O}C$** | 4.16 | 4.82 | 5.25 | 2246.12 | 117.92 | 183.5 | 1.55 | **0.6: -0.9** | 720 | 0.32 | 3.26 | **1400** |
| **9-110$^{O}C$** | 5.01 | 5.08 | 4.71 | 2580.6 | 121.5 | 252.37 | 2.07 | **0.23** | 1675 | 0.64 | 6.6 | **1450** |
| **9-1100$^{O}C$** | 4.92 | 5.01 | 4.7 | 2464.9 | 151.8 | 220.2 | 1.9 | **0.6: -0.9** | 920 | 0.88 | 3.8 | **1450** |
| **10-110 $^{O}C$** | 5.04 | 5.02 | 5.45 | 2530.08 | 137.88 | 258.12 | 1.87 | **0.24** | 990 | 0.39 | 3.99 | **1300** |
| **10-1100 $^{O}C$** | 5.68 | 5.08 | 5.45 | 2885.4 | 157.25 | 222.34 | 1.41 | **0.7:-0.9** | 2010 | 0.69 | 7.1 | **1300** |

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **11-110 °C** | 5.02 | 5.06 | 5.02 | 2540.12 | 127.51 | 234.68 | 1.84 | **0.28** | 1800 | 0.7 | 7.22 | **1300** |
| **11-1100 °C** | 5.03 | 4.94 | 5 | 2184.82 | 124.24 | 231.54 | 1.86 | **0.6:-0.9** | 1675 | 0.67 | 6.8 | **1300** |
| **12-110 °C** | 4.83 | 4.91 | 5.15 | 2829.29 | 130.28 | 241.5 | 1.85 | **0.29** | 1765 | 0.74 | 1.59 | **1300** |
| **12-1100 °C** | 4.83 | 4.91 | 5.02 | 2370.5 | 113.28 | 200 | 1.65 | **0.6:-0.9** | 1510 | 0.74 | 7.58 | **1300** |
| **13-110 °C** | 5.01 | 5.01 | 5.02 | 2601 | 135.25 | 274.6 | 2.17 | **0.28** | 1510 | 0.58 | 5.91 | **1350** |
| **13-1100 °C** | 5.02 | 4.95 | 5.08 | 2504.9 | 127.23 | 2433 | 1.84 | **0.6:-0.9** | 1565 | 0.682 | 6.37 | **1350** |
| **14-110 °C** | 5.05 | 5.02 | 5.18 | 2535.1 | 131.31 | 232.6 | 1.77 | **0.27** | 300 | 0.118 | 1.2 | **1250** |
| **14-1100 °C** | 4.84 | 4.83 | 5.11 | 2332.21 | 120.39 | 198.41 | 1.65 | **0.6:-0.9** | 335 | 0.142 | 1.45 | **1250** |
| **15-110 °C** | 5.11 | 5.05 | 4.38 | 2580.5 | 113.02 | 154.12 | 1.33 | **0.297** | 550 | 0.213 | 0.594 | **1300** |
| **15-1100 °C** | 4.81 | 4.84 | 4.02 | 2328.6 | 93.58 | 115.4 | 1.23 | **0.4:-0.9** | 2328.6 | 0.324 | 3.3 | **1300** |
| **16-110 °C** | 4.09 | 4.9 | 4.5 | 2401 | 108.04 | 181.25 | 1.6 | **0.254** | 140 | 0.05 | 0.59 | **1500** |
| **16-1100 °C** | 4.08 | 4.8 | 4.5 | 2304 | 103.68 | 171.07 | 1.64 | **0.5:-0.9** | 425 | 0.184 | 1.88 | **1500** |

## ٤ - معايير تقييم التجارب الحرارية لتحديد أفضلها.

4-1 أن تكون ذات كثافة عالية من ١,٩:٢,٦ جرام /سم$^{٣}$ وذلك لعدم تكون شروخ بجسم القالب

4-2 أن تكون قوتها الميكانيكية أكبر من ١٢٠ كجم /سم$^{٢}$ وذلك لعدم تكون شروخ بجسم القالب الحراري.

4-3 أن يكون معامل الانكماش لها منخفض ± ٠,٠٥ مم؛ وذلك لضمان مطابقته مع مواصفات المنتج الزجاجي.

4-4 ألا تزيد نسبة الماء عن ١٥%. لعدم تكون مسام بجسم القالب تؤثر علي تفاصيل الشكل الخارجي للمنتج الزجاجي، كما أن نسبة الماء تؤثر علي القوة الميكانيكية للقالب الحراري وتؤثر علي معدل انتشار الحرارة داخل القالب.

4-5 أن يقع مدي التحمل الحراري لها من 1500:1300 م ْ، حتى يصمد القالب أثناء الإنتاج بالتشكيل بالنفخ مع الدوران والنفخ مع الضغط.

4-6 أن تحتوي علي حجم حبيبي ناعم ويفضل أن يكون من ٥:20 ميكرون لاظهار الملامس الدقيقة والناعمة ولضمان المطابقة بين القالب الحراري والنموذج.

**وقد تم تطبيق تلك المعايير لاختيار أفضل التركيبات الحرارية.**

**٥ - أفضل التجارب الحرارية ملائمة في خواصها لتصنيع قوالب تشكيل الزجاج بالنفخ اليدوي.**

**جدول رقم (٣) أفضل خمسة تركيبات حرارية تلائم خواص قوالب تشكيل الزجاج.**

| Sample / $^{O}C$ | Dimensions (cm) | | | Area ($mm^2$) | Volume ($cm^3$) | Weight (g) | Bulk density ($g/cm^3$) | PLC | Machine reading | Cold crushing strength | | Working temp. $^{O}C$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | X | Y | Z | | | | | | N | MPa | $Kg/cm^2$ | |
| 1 -110 $^{O}C$ | ٥,٠١ | ٥,٠٤ | ٤,٢٥ | ٢٥٢٥,٠٤ | ١٠٧,٣١ | ٢٢٩,٢٧ | ٢,١ | 0.1 | ٤٤٩٣٠ | ١٧,٧٩ | ٢٢٠,٣٣ | 1450 |
| 1 -1100 $^{O}C$ | ٥,٣ | ٥,١ | ٤,٢ | 2703 | 113.52 | 227.62 | 2.001 | 0.1: -0.3 | 40600 | 16.65 | ٢١٥,٩٢ | 1450 |
| 2-110$^{O}C$ | ٥,٠٣ | ٤,٦ | ٤,٩ | ٢٣١٣,٨ | ١١٣,٣٧ | ٢٣٤,٥٤ | ٢,٠٦ | 0.12 | ٤٠٨٠٠ | ١٧,٦٣ | ٢٩٥,٨١ | 1450 |
| 2-1100$^{O}C$ | ٤,٨ | ٥,٠٨ | ٤,٩ | ٢٤٣٨,٤ | ١١٩,٤٨ | ٢٢٧,٦٣ | ١,٩٠٥ | -02: -0.3 | ٤٠٦٦٠ | ١٦,٦٥ | ٢٦٠,٩١ | ١٤٥٠ |
| 3-110$^{O}C$ | ٥,٠٧ | ٥,١ | ٥,١ | ٢٥٨٥,٧ | ١٣١,٨٧ | ٣٢٠,٣٣ | ٢,٤٢ | 0.14 | ٨٦٢٥٠ | ٣٣,٣٥ | ٣٤٠,١٤ | 1550 |
| 3-1100$^{O}C$ | ٥,٥ | ٥ | ٤,٦٥ | ٢٧٥٠ | ١٢٧,٨٧ | ٢٨٢,٠٦٣ | ٢,٢١ | 0.2: -0.9 | ٧٠٥٠٠ | ٢٥,٦٣ | ٢٦١,٤ | ١٥٥٠ |
| 4-110$^{O}C$ | ٥,٠١ | ٤,٨ | ٤,٤٥ | ٢٤٠٤,٨ | ١٠٧,٠١٣ | ٢٨٦,٥٦ | ٢,٦٢ | 0.147 | ٨٨٩٠٠ | ٣٦,٩٦ | ٣٧٦,٩٦ | 1750 |
| 4-1100$^{O}C$ | ٥,١١ | ٤,٩١ | ٤,٤ | ٢٥٠٩,٠١ | ١١٠,٣٩ | ٢٧٠,٠٤ | ٢,٤٤ | -03: -0.9 | ٣٠١٥٠ | ١٢,٠١ | ٣٠٠,٥٥ | ١٧٥٠ |
| 5-110$^{O}C$ | ٥,٠٧ | ٤,٨ | ٤,٣٣ | ٢٤٣٣,٦ | ١٠٥,٣٧ | ٢٩١,٧١ | ٢,٧٦٨ | 0.149 | ٩٠٤٤٠ | ٣٧,١٦ | ٤٠٠,٣ | 1780 |
| 5-1100$^{O}C$ | ٤,٠٩ | ٥,٠١ | ٤,٣٣ | ٢٤٦٤,٩٢ | ١٠٦,٧٣ | ٢٦٨,٤ | ٢,٥١ | 0.1: -0.2 | ٦٠٩٥٥ | ٢٤,٧٢ | ٣٥٠,٥٥ | ١٧٨٠ |

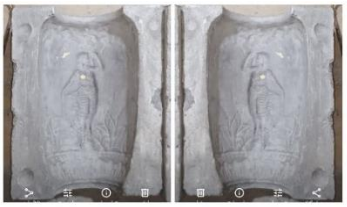
**جدول رقم (4) أفضل تركيبة حرارية تلائم خواص قوالب تشكيل الزجاج بالنفخ اليدوي من حيث التحمل الحراري والميكانيكي ومقاومتها للتفتت والتقشر.**

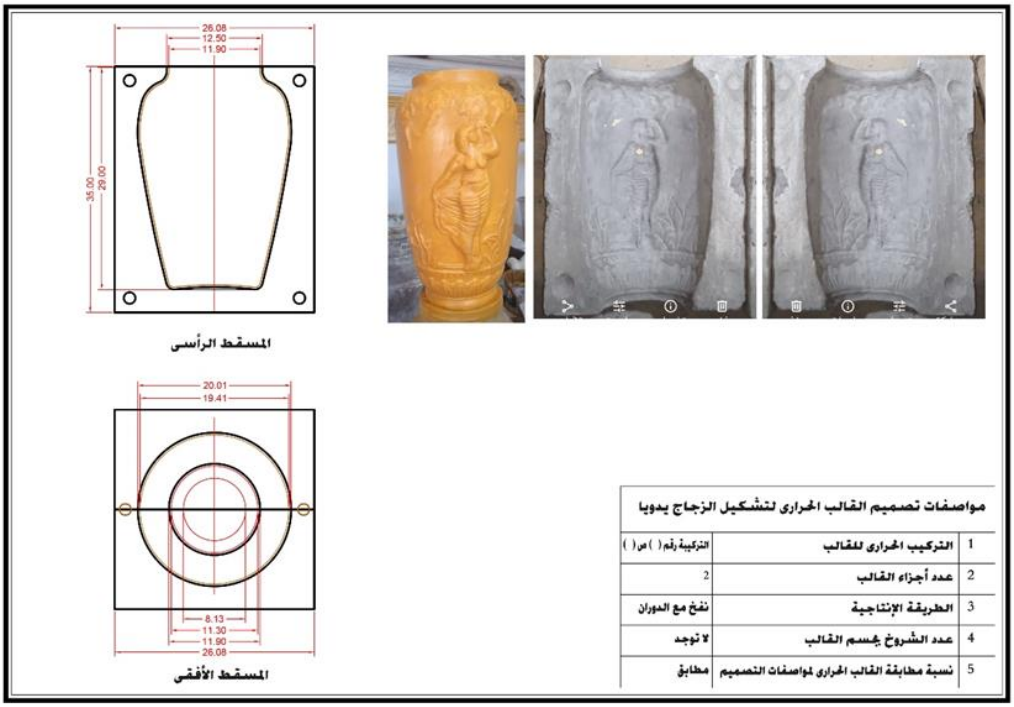
| Sample No. | Dimensions (cm) | | | Area ($mm^2$) | Volume ($cm^3$) | Weight (g) | Bulk density ($g/cm^3$) | PLC | Machine reading | Cold crushing strength | | Working temp.°C |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | X | Y | Z | | | | | | N | MPa | $Kg/cm^2$ | |
| 110 ٥ °C | ٥,٠٧ | ٤,٨ | ٤,٣٣ | ٢٤٣٣,٦ | ١٠٥,٣٧ | ٢٩١,٧١ | ٢,٧٦٨ | 0.01 | ٩٠٤٤٠ | ٣٧,١٦ | ٤٠٠,٣ | 1780 |
| 1100 ٥ °C | ٤,٠٩ | ٥,٠١ | ٤,٣٣ | ٢٤٦٤,٩٢ | ١٠٦,٧٣ | ٢٦٨,٤ | ٢,٥١ | 0.1: -0.2 | ٦٠٩٥٥ | ٢٤,٧٢ | ٣٥٠,٥٥ | ١٧٨٠ |

**ثانيا التجارب التطبيقية**

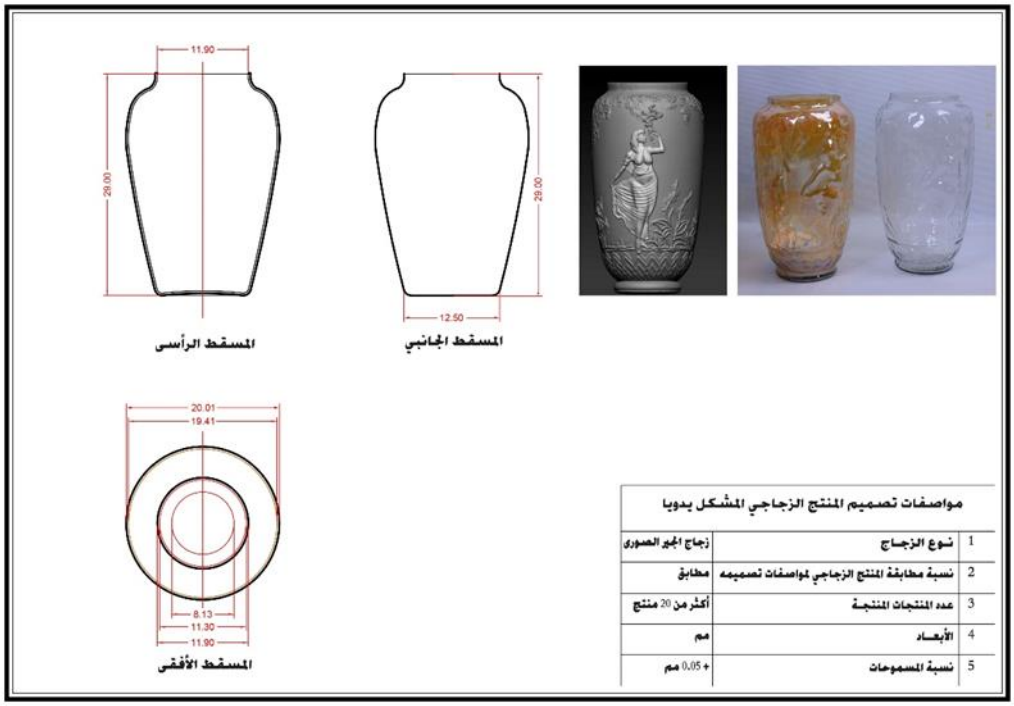
تم تطبيق المادة الحرارية التي تم التوصل إلـها في قالب تشكيل الزجاج وتم تشكيل الزجاج في تطبيقين كالتالي :

**جدول رقم ( ٥ ) العلاقة بين شكل القالب الحراري وشكل المنتج الزجاجي**

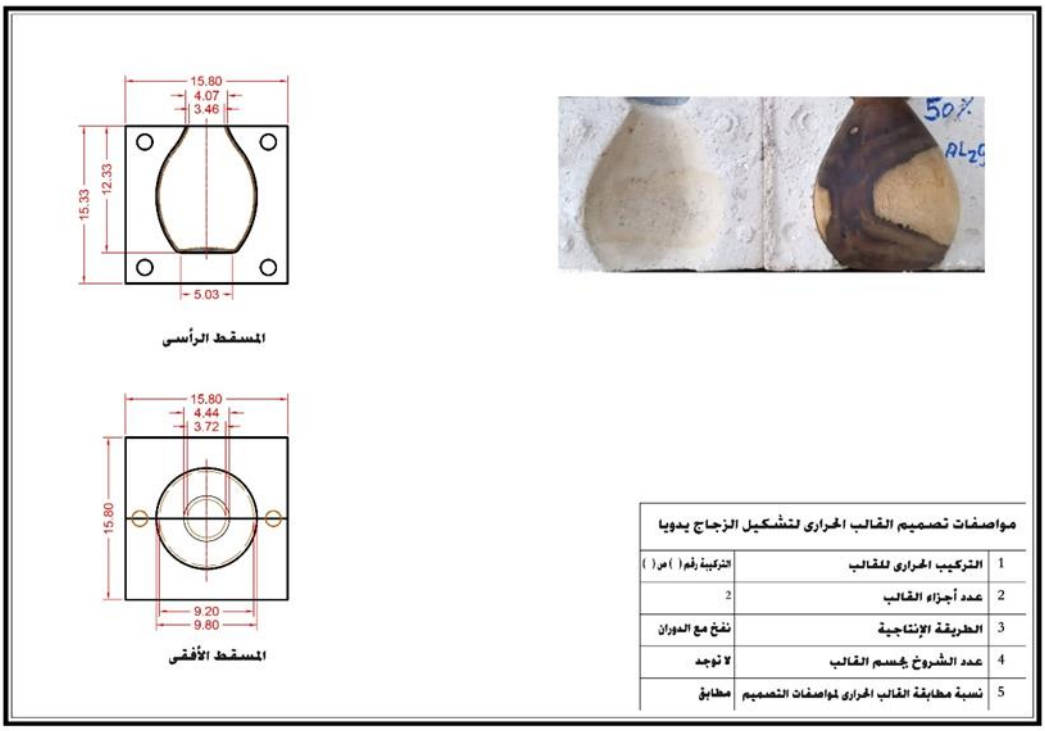
| م | شكل القالب الحراري | شكل المنتج الزجاجي | ملاحظات |
|---|---|---|---|
| التطبيق الأول |  | | تم بنجاح تطبيق المادة الحرارية وتم نفخ الزجاج داخل القالب الحراري مع الضغط، ونسبة المطابقة ٩٥% من التصميم. وارتفاع المنتج الزجاجي ٣٣ سم، وكما هو موضح بالشكلين رقمي ١٧ , ١٨ |
| التطبيق الثاني | | | تم بنجاح تطبيق المادة الحرارية وتم نفخ الزجاج داخل القالب الحراري مع الدوران، ونسبة المطابقة ٩٨% من التصميم وارتفاع المنتج الزجاجي ١٧ سم. وكما هو موضح بالشكلين رقمي ١٩ , ٢٠ |



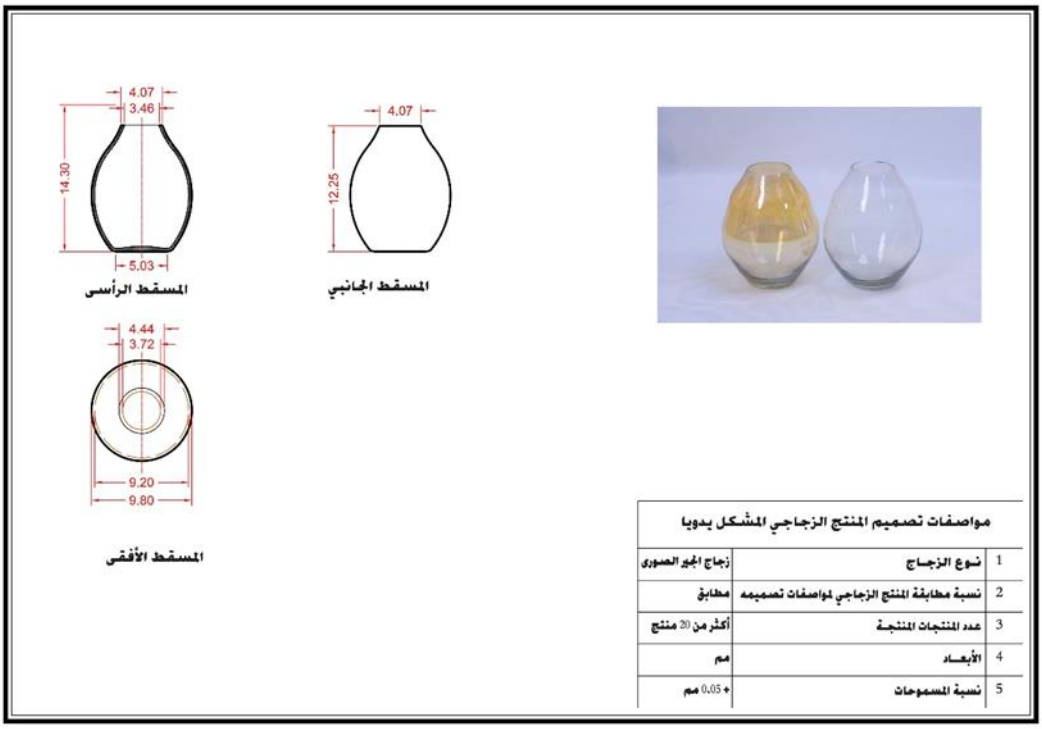

**شكل رقم (١٧) رسم مواصفات تصميم القالب الحراري لتشكيل الزجاج يدويا (قالب السيدة – نفخ مع الضغط)**




شكل رقم (١٨) رسم مواصفات تصميم المنتج الزجاجي المشكل يدويا (قالب السيدة – نفخ مع الضغط)




شكل رقم (١٩) رسم مواصفات تصميم القالب الحراري لتشكيل الزجاج يدويا (نفخ مع الدوران)




**شكل رقم (٢٠) رسم مواصفات تصميم المنتج الزجاجي المشكل يدويا (نفخ مع الدوران)**

## ٦- النتائج:

1- التركيبات الحرارية التي تحتوي علي الومينا ٥٠% تناسب تنفيذ قوالب تشكيل الزجاج بالنفخ مع الدوران وكما هو واضح في التطبيق الثاني.

2- التركيبات الحرارية التي تحتوي علي الومينا بنسبة اكبر من ٨٠% تناسب تنفيذ قوالب تشكيل الزجاج بالنفخ مع الضغط وبها تشكيلات غائرة وبارزة وكما هو واضح في التطبيق الأول.

3- أن أفضل التركيبات الحرارية هي التركيبة رقم (٥) وذلك من حيث الكثافة ومقاومة التشققات والشروخ والتحمل الحراري ومقاومة التفتت وقلة معامل الانكماش ومطابقة المواصفات الفنية لتصميم القالب الحراري.

4- استخدام القوالب الحرارية في انتاج العينة الاولي للمنتج الزجاجي.

5- أن تكون ذات كثافة عالية من ١,٩:٢,٦ جرام /سم٣ وذلك لعدم تكون شروخ بجسم القالب

6- أن تكون قوتها الميكانيكية أكبر من ١٢٠ كجم /سم٢ وذلك لعدم تكون شروخ بجسم القالب الحراري.

7- أن يكون معامل الانكماش لها منخفض ± ٠,٠٥ مم. وذلك لضمان مطابقته مع مواصفات المنتج الزجاجي.

8- ألا تزيد نسبة الماء عن ١٥%. لعدم تكون مسام بجسم القالب تؤثر علي تفاصيل الشكل الخارجي للمنتج الزجاجي، كما أن نسبة الماء تؤثر علي القوة الميكانيكية للقالب الحراري وتؤثر علي معدل انتشار الحرارة داخل القالب.

9- أن يقع مدي التحمل الحراري لها من 1500:1300 م °، حتى يصمد القالب أثناء الإنتاج بالتشكيل بالنفخ مع الدوران والنفخ مع الضغط.

10- أن تحتوي علي حجم حبيبي ناعم ويفضل أن يكون من ٥:20 ميكرون لإظهار الملامس الدقيقة والناعمة ولضمان المطابقة بين القالب الحراري والنموذج.

## ٧- التوصيات:

1- تفعيل دور مصمم الزجاج في تصميم قوالب تشكيل الزجاج الحرارية في المنتجات ذات الطبيعة الجمالية ومنتجات القطعة الواحدة.

2- استخدام موارد الطاقة النظيفة فهي الحل الأمثل للحفاظ علي البيئة وعلي صحة الإنسان بدلا من الطاقة التقليدية التقليدية التي تسبب أضرار بالغة.

3- إنتاج العينة الاولي للمنتج الزجاجي من خلال القالب الحراري.

## ٩ - المراجع:

1- مطاوع، حسام الدين نظمي– أساسيات تصميم وتنفيذ القوالب من الخامات المحلية لتشكيل المنتجات الزجاجية النحتية بالنفخ – رسالة دكتوراه – كلية الفنون التطبيقية – جامعة حلوان – ٢٠٠٥.

1- Motawe, Hosam Eldin Nazmy, The Basics of Designing and Implementing Molds from Local Materials to Form Sculptural Blown Glass Products, Ph.D. Thesis, Faculty of Applied Arts, Helwan University, 2005.

2-V. Media, Sabari, A. Ruffing, Didcock, A. Accessories Based Refractory Paints Prepared with Alkali aluminum silicate binders, Italy, 2011.

3-Maria Schultz Loup, Salvador Villagers 'The Manufacturing of glass pot furnaces in marina grand (Portugal) during the last decades of the 19th Century, Portugal, 2008.

4-William D. Scoot, Refractory Molds for Glass Sintering, Department of Materials Science and Engineering, University of Washington, Seattle, Washington, E.S.A., December, 1995.

5- Karl Eel spear and Mark Thermodynamic Analysis of Alumina Refractory Corrosion by Sodium or Potassium Hydroxide in glass melting Furnaces, the Pennsylvania State University, U.S.A 2002.

6- David G. Wild goose, MPhil, Anthony Johnson, PhD, Medics, and Raymond B. Win Stanley, MDS, BDS, Glass/Ceramic/ Refractory Techniques, Their development and introduction into dentistry: Ahistorical literature Review, School of Clinical Dentistry, University of Sheffield, Sheffield, England, 2004.

7- Liu, G., Vu, A.-T., Dambon, O., & Klocke, F., Glass Material Modeling and its Molding Behavior. MRS Advances, 2(16), 875–885. 2017.

8- Gleason, B., Wachtel, P., Musgraves, J. D., & Richardson, K., Using design of experiments to improve precision glass moulding. International Journal of Experimental Design and Process Optimization, 3(3), 263, 2013. doi:10.1504 /ijedpo.2013.055742

[1] Motawe, Hosam Eldin Nazmy, The Basics of Designing and Implementing Molds from Local Materials to Form Sculptural Blown Glass Products, Ph.D. Thesis, Faculty of Applied Arts, Helwan University, 2005.