استخدام اسلوبي المستوى الحراري الخامد والصهر داخل قالب في ترميم الآثريات الزجاجية الاسلامية المجسمة

أ.د.م / فاطمة الشناوي[1]

ملخص :.

- عرف الزجاج الإسلامي القديم بزجاج السيليكا و القلوي و الجير . Lime .Alkali silicate ، و منذ بداية القرن العاشر الميلادي أصبح استخدام مركبات البوتاسيوم بالاضافة الى نسبة لا تقل عن % 10 من مسحوق الحجر الجيري تزيد من متانة الزجاج و صموده ضد الآجواء الرطبة . لذلك نجد أن التركيب الكيميائي للزجاج له دوراً هاماً في مدى ثباته أو إصابته بمظاهر تلف مختلفة ، و هذا ما جعل عملية ترميم الآثريات الزجاجية المصابة بظاهرة التآكل السطحي أو المفقود منها أجزاء تحتاج لتقميات تكنولوجية دقيقة و مناسبة للتركيب البنائي للزجاج الذي يكون في جميع الحالات هو المسئول عن ظهور مظاهر التلف التي تصيب السطح الزجاجي أو تمتد الى تدمير بنائه الداخلي . و هذا ما جعل بحثنا هذا يهدف الى تقديم طريقة تكنولوجية جديدة لإستكمال و تجميع الأجزاء المفقودة من الآثريات الزجاجية ، تعتمد على المعالجات الحرارية المناسبة للزجاج الاسلامي الذي كان يصهر في أفران بسيطة تتراوح درجات حرارتها ما بين " 900 _ 1000°c " . و اعتمدت هذه التقنية على استخدام اسلوبي المستوى الحراري لصهر الزجاج داخل قالب في درجة حرارة تتراوح ما بين " 900°c - 850 " لاستنساخ الجزء المفقود من الأثر الزجاجي بنفس التركيب الكيميائي للزجاج الإسلامي القديم ، بإستخدام بواتق الصهر و القوالب الحرارية المناسبة لذلك .

ثم تطبيق الزخارف على هذه الاجزاء الزجاجية بعد تمام تصنيعها " تذهيب - تموية بالميناء - إلخ " و استخدام المستوى الحراري الخامد في درجة حرارة تتراوح ما بين " 530 °c _ 500 " لتثبيت الجزء المستنسخ بالجسم الاصلي و نثبيت الزخارف في آن واحد .

مقدمة :.

واصلت صناعة الآنية الزجاجية المذهبة و المموهة بالميناء تقدمها حتى وصلت الى درجة عالية من الدقة و الاتقان في العصر المملوكي بدوليته ، دولة المماليك البحرية "1382 °c _ 1250 " ميلادية ، و دولة المماليك الجراكة ((1517 °c _ 1382)) ميلادية و خير

[1] استاذ مساعد بقسم الزجاج - كلية الفنون التطبيقية . جامعة حلوان .
3 ب شارع أحمد فخري . المنطقة السادسة . مدينة نصر . القاهرة . ت : 2715688 ف : 2072828 م 0127839585 Email :- Fatmaelshinawy@hotmail.com

شاهداً على براعة هذا العصر في صناعة الزجاج المذهب و المموه بالميناء مجموعة المشكاوات[2] الزجاجية المحفوظة في معظم متاحف العالم بالاضافة الى ما تبقى منها و ظل معلقاً بأسقف المساجد و الأضرحة و المشاهد و المدارس .
هذا الى جانب ما خلفنه العصور الاسلامية من آثار زجاجية آخرى كالكؤوس و القناني و زجاجات العطور ...الخ .
لهذا كان لابد من الاهتمام بنرميم و صيانة ما أصيب منها بمظاهر تلف التآكل السطحي أو فقدان أجزاء منها ، و ذلك من خلال تناولنا لما يلي :-

1- الخواص الفيزيوكيميائية للزجاج و علاقتها بعمليات الترميم :-

الوقوف على الخواص الفيزيائية للزجاج و كذلك تركيبه و خواصه الكيميائية تساعد الباحثين و القائمين على أعمال ترميم و صيانة الأثار الزجاجية في الوقوف على نوعية الزجاج المراد ترميمه و خواصه المختلفة ، و بالتالي يمكن نحديد الاسلوب الأمثل و الآمن للتعامل مع الأثر الزجاجي .

1-1- أهم الخواص الفيزيائية للزجاج :-

و تتضح من خلال الجدول رقم " 1 "

1-2 أثر التركيب البنائي الكيميائي للزجاج على مظاهر التلف :.

أثبتت الأبحاث أن طبيعة التركيب الكيميائي للزجاج و مدى ثباته هو المسئول الأول عن إصابة الأثار الزجاجية التي تنسب للعصور الاسلامية بمظاهر تلف تختلف بإختلاف البيئة "أ"المتواجد بها الأثر ، و مظاهر التلف هذه لا تصيب الأسطح الزجاجية فقط بل تمتد في كثير من الأحيان الى البنية الداخلية لتركيب المادة الزجاجية فتدمرها .
لذلك لابد من تحديد علاقة مظاهر تلف الزجاج الاسلامي بتركيبة الكيميائي من خلال تناولنا لما يلي :.

1-2-1- التركيب البنائي و تكوين الزجاج :.

الزجاج القديم على مر عصوره ذو تركيب كيميائي معقد للغاية لإحتوائه في تركيبه الاساسي على أيونات فلزية موجبة تعرف بالكاتيونات و ايونات فلزية تعرف بالايونات ، بالاضافة الى وجود أكاسيد أخرى تدخل في تركيبه كشوائب للمواد الخام و أهمها شوائب و أكاسيد الحديد التي درجات لونية للزجاج " غير مرغوبة " تختلف من الاصفر للخضر و الازرق و تعد نظرية زاخر ياذن هي اول نظرية تشرح التركيب و البناء الشبكي للزجاج .

1-2-2- نظرية زاخر ياذن :.Zachariasen' S theory " 1932 " ميلادية

[2] اتفقت تعاريف المعاجم العربية مع تعاريف القرآن الكريم على أنها ما يوضع فيه القنديل أو المصباح و عرفها الإنجليز بأنها وعاء حفظ الطاقة الضوئية

أوضحت هذه النظرية أن بناء زجاج السيليكا عبارة عن بناء من اهرامات رباعية الاوجه من السيليكا الاكسجين المتصلة ببعضها مكونة تركيباً شبكياً منتظماً في الاتجاهات الثلاثة كما يوضحه " شكل رقم 1 ".

و برفع درجة حرارة السيليكا SiO_2 تنكسر الخلية البنائية المكونة للنظام الشبكي و يفك الارتباط بين جزيئات المادة و تتحول الى حالة السيولة و عند تبريدها تنخفض درجة الحرارة بمعدل معلوم تتحول المادة من الحالة السائلة الى الصلبة دون وجود وقتاً كافياً أمام الجزيئات لإعادة ترتيب نفسها وفقاً للنظام الشبكي للمادة قبل رفع درجة حرارتها فتتجمد في مكانها بشكل عشوائي و سميت هذه الحالة بالحالة الزجاجية " او الحالة الرابعة للمادة " كما في شكل رقم" 2 " و باضافة القلوي لانتاج زجاج السيليكا و القلوي تتداخل ذرات القلوي مع ذرات السيليكا بنظام شبكي دقيق ، و برفع درجة الحرارة يتحطم التركيب الشبكي و عند التبريد بالمعدل المعلوم تتجمد الجزئيات في مكانها بصورة عشوائية مكونة زجاج السيليكا و القلوي كما في شكل رقم" 3 " .

1-2-3- العالم بوللارد pollard " 1996 ":.

و جد أن تكوين الزجاج يعتمد على معدل تبريده و على نوعية المكونات الأساسية الداخلة في تركيب خلطته و أوزان هذه المكونات . و هذا ما أوضحه شكل رقم" 4 " .

1-2-4-العالم شيلي shelly :.

فقد قارن بين وزنين مختلفين لمصهور خلطة زجاجية حيث أكد على أن تكوين الزجاج يتطلب معدل تبريد خاص لكل وزن للمصهور و كذلك علاقة نسب الخامات المكونة للزجاج ببعضها .

1-3- أثر اختلاف نسب الخامات المكونة للزجاج على ثباته و متانته :.

النسب المثالية التي يتم الحصول من خلالها على منتجات زجاجية ذات خواص جيدة لمقاومة تأثير الظروف المحيطة المسببة للتلف كما أوضحها " hemilton " 1999 " هي كالتالي :.

% 74 – 70 سيليكا	% 22 – 16المادة القلوية " "
% 10 – 5 مسحوق جيري	

احدى مركبات الصوديوم او البوتاسيوم و في أغلب الاحيان لا تتفق نسب مكونات الزجاج الأثري مع النسب المثالية سابقة الذكر ، نظراً لوقوع الصانع " عن غير قصد " في عدة أخطاء تضر بمواصفات الآنية الزجاجية و ينتج عنها بعض مظاهر التلف على الآثر أثناء عملية تصنيعه و تظل كامنة في في جسم الآنية لحين تعرضها لتأثير ظروف محيطة غير مناسبة فتساعد على ظهور مظاهر التلف على الآثر .

2- مظاهر تلف الآثريات الزجاجية :.

و من أهم مظاهر التلف ما يلي :.

2-1- ظاهرة التآكل السطحي للزجاج :.

و هي السمة الاساسية لمعظم الآثار الزجاجية المعرضة للتلف ، فقد حظيت باهتمام كثير من الباحثين[3] الذين أكدوا على وجود علاقة قوية بين التركيب الكيميائي و نسب المواد و بين متانة الزجاج . و هذا ما يوضحه الجدولين " رقم 2 & 3 " .

2-3- مدى تأثر مادة المينا بمظاهر التلف :.

كل مظاهر التلف سالفة الذكر تتعرض لها أيضا مادة المينا Enamell التي تستخدم في زخرفة الاسطح الزجاجية نظراً لأنها مادة زجاجية التركيب .

و ترجع أسباب التلف التي تتعرض لها مادة المينا الى ما يلي :.

2-3-1- زيادة نسبة السيليكا بها يتطلب درجة حرارة عالية لصهرها حتى تصل لدرجة التزجج المطلوبة . فيؤدي ذلك الى تعرض جسم الاناء الزجاجي للين و التشوه الشكلي Deformation .

2-3-2- زيادة نسبة القلوي بمكونات مادة المينا يؤدي الى اصابة زجاج المينا بظاهرة التآكل السطحي .

2-3-3- ارتفاع درجة الرطوبة في الوسط المحيط يؤدي ال سقوط طبقات نواتج التلف المتكونة على السطح حاملة معها مادة المينا المستخدمة في الزخرفة ، تاركة السطح الزجاجي خالياً تماماً فيما عدا بعض المساحات الصغيرة ، تظل محتفظة بأثار مادة المينا ، يشوه المنظر الجمالي للأثر الزجاجي .

2-4- تركيب المينا و خاماتها :.The materials and composition of Enamel

بعد أن كان الفنان يقوم بنفسه بتحضير مسحوق المينا ، أصبح الآن من السهل الحصول عليها جاهزة للإستخدام المباشر ، سواء في صورة مسحوق جاف " Frit " أو في صورة خيوط طويلة " Tredes " أو كتل كبيرة " Lumpes " و كلها تتميز بألوانها العديدة و تطبق على الأسطح مباشرة .

و المينا المستخدمة في العصر الاسلامي كانت تجهد من الخامات التالية :.

2-4-1- مواد تزجيج :.

أهمها السيليكا و يحصل عليها من الرمال النقية والكوارتز أو الفليت و نسبتها لا تزيد عن 40 % .

2-4-2- المادة القلوية أو المصهرة :.

توجد في أملاح النطرون أوالاعشاب والنباتات البحرية التي تحتوي على نسبة عالية من مركبات الصوديوم.

2-4-3- الجير :. يحصل منه على كربونات الصوديوم .

2-4-4- المواد و الاكاسيد الملونة و المزيلة للون أو المعتمة طبقاً لنوعية المينا المطلوبة و منها أكاسيد معادن الحديد و النحاس و المنجنيز و القصدير و الرصاص و الكوبالت .

---

[3] أمثال Brewster " 1863 " Sandra Davison & " 1992 " Hamilton & " 1999 "

2-5- أنواع المينا :.

منها المينا الصلبة و المتوسطة و اللينة و الناعمة و الخشنة و كذلك المعتمة و الشفافة و اللؤلؤية ، و ترتبط
كل هذه الخواص بدرجة حرارة انصهارها و درجة نعومة و خشونة حبيباتها و أيضا مدى نفاذيتها للضوء .

2-6- استخدام المينا في زخرفة الاسطح الزجاجية :.

يتم تطبيق طبقة المينا على الاسطح الزجاجية بالطرق المعروفة و باستخدام الأدوات المناسبة ثم تثبت بالاسطح عند درجات الحرارة المناسبة لها و لتقليل معامل التمدد الحراري لطبقة المينا يضاف البوراكس أما أكسيد القصدير فيضاف لتحويل الطلاءات الشفافة الى معتمة و اسلوب تطبيقها على الاسطح يسمى " التموية بالمينا " .

2-7- التموية بالذهب :.

و هنا تستخدم اسلوب التزهيب على الساخن و فيه يضاف القلوي في صورة بورات الصوديوم " البوراكس " مع أكسيد الذهب أو أحد مركباته مع إضافة المادة اللاصقة اليهما و يفضل الصمغ العربي ثم تثبت بالحرارة المناسبة لذلك حيث ينصهر القلوي مكوناً طبقة زجاجية تعمل على لصق الذهب مع أسطح الآنية الزجاجية و تكون حلقة الاتصال بينهما و هذا ما ساعد على مقاومة الزخارف المذهبة بهذه الطريقة لفعل الزمن فضلاً عن غيرها المنفذة على البارد .
و في كثير من الأحيان كان يخلط الذهب بأكاسيد المعادن الأخرى للحصول على درجات مختلفة من اللون الأصفر المائل للإخضرار أو الاحمرار أو اللون العسلي و هذا ما جعل البريق المعدني من إبداعات الفن الاسلامي الى جانب الزخرفة بماء الذهب .
- هذا الى جانب الزخارف الأخرى مثل الحفر و القطع و التي يتم تنفيذها على قطعة الزجاج المستنسخه أولاً قبل عملية تثبيتها في مكانها بجسم الإناء .
- اما الزخارف المنفذه بطريقة الختم Stamping فهذه يتم حفرها في قالب التشكيل المستخدم لتنفيذ الجزء المراد استنساخه ثم يشكل الزجاج بداخل هذا القالب و نحصل على الجزء الزجاجي و قد طبع عليه الختم الزخرفي المطلوب .

3- الاساليب المستخدمة في تحليل عينات الأثار الزجاججية :.

يتم تحليل و فحص عينات التلف المتكونة على أسطح الأثار الزجاجية و كذلك تحليل عينات من التربة المستخرج منها .
من خلال عدة طرق منها ما يلي :.

3-1- التحليل بواسطة الميكروسكوب الالكتروني الماسح المزود بوحدة التحليل الدقيق للأشعة السينية " SEM with EDAX unit **"**

و هذه الطريقة من أنسب و ادق طرق التحليل حيث تصل قوة التكبير بالنسبة لوحدة الميكروسكوب الاكتروني الماسح الى 400 000 مرة .

و تعتمد على تشتيت " تفلور " طاقة الاشعة السينية المستخدمة لإثارة ذرات العناصر بالعينة الزجاجية لإعطاء نمط إنعكاس خاص بها عند مستوى الطاقة المحدد " K . L . M . N "

3-2- و من مميزات هذه الطريقة :.

3-2-1- تعطي تحليلاً كيفياً و كمياً دقيقاً للعناصر الموجودة بالعينة .

3-2-2- صغر حجم العينة المطلوبة للقياس .

3-2-3- طريقة غير متلفة للعينة .

3-2-4- يمكن استخدام العينة في صور مختلفة سواء صلبة أو مسحوقة .

3-2-5- الجهاز مزود بوحدة طبع و تصوير بالكمبيوتر .

3-3- التحليل بواسطة الميكروسكوب الميكروفوتوجرافي :.

و هذا الجهاز مزود بوحدة تصوير فيديو و كمبيوتر ملونة للتسجيل و الطبع المباشر .

4- علاج و صيانة الأثار الزجاجية المصابة بظاهرة التآكل السطحي :.

توجد العديد من الأبحاث العلمية الحديثة التي تعرضت لعلاج و صيانة الأثار الزجاجية المصابة بظاهرة التآكل السطحي "أ" . الى جانب الابحاث التي تناولت كيفية العناية بالأثار الزجاجية منذ لحظة الكشف عنها و كيفية تناولها و نقلها الى معامل الترميم المتخصصة و كذلك طرق العرض و الحفظ و قد أكدت هذه الابحاث على ما يلي :.

4-1- العلاج المبدئي للأثار الزجاجية المتآكلة عند عملية الكشف عنها

4-2- تنظيف الأسطح الزجاجية المتآكلة

4-3- تجميع الكسر الزجاجي Joining of frag mented parts

4-4- استكمال الاجزاء المفقودة

4-5- التقوية و العزل Consolidation and Coating

4-6- تهيئة الظروف المناسبة للعرض بعد اتمام عملية الترميم

4-7- التحكم في معدلات الإضاءة داخل قاعات العرض

* و نظراً لتعدد العمليات و المواد الكيميائية و الآلات الحادة المستخدمة لترميم الأثريات الزجاجية و التي يمكن أن تعرضها للإجهادات و قد تؤدي بها و تقضي عليها تماماً . جاءت فكرة بحثنا هذا لإيجاد تقنية بديلة و محكمة لترميم و استكمال الاجزاء المفقودة من الأثريات الزجاجية المجسمة و تمثلت فيما يلي :.

5- تصنيع الجزء المفقود باستخدام اسلوب التشكيل بالصهر داخل قالب :.

يرجع تاريخ تقنية تشكيل الزجاج بالصهر فوق قالب الى الاسلوب الذي استخدمه المصري القديم في صناعة التماثيل المعدنية " طريقة الشمع المفقود " The Lost Wax Process و التي استخدمها المصري القديم أيضاً في صناعة القطع الزجاجية المصمتة ذات التفاصيل المعقدة مثال :.

- تمثال رأس أمنحتب الثالث من الزجاج الازرق و طولها حوالي 3cm و يرجع تاريخها لسنة " 1375 ق . م " و محفوظ بمتحف ميونخ بألمانيا .

- تمثال فينوس من الزجاج الاخضر المائل للاصفرار و يرجع تاريخه للقرن الثاني الميلادي و يبلغ ارتفاعه حوالي " 9.4 cm " و محفوظ بمتحف كورتنج للزجاج بالولايات المتحدة الامريكية .
- و تمثال آخر لرأس أمنحتب الثاني و محفوظ بنفس متحف كورتنج بأمريكا .

و نظراً لجودة هذه المنتجات انطلق فكرنا في استخدام هذه التقنية في استكمال الاجزاء المفقودة من الأثريات الزجاجية و ذلك من خلا ما يلي :.

5-1- استخدام تقنية تشكيل الزجاج بالصهر في قالب لإنتاج الجزء الأثري المفقود :. Techniques of forming by fusing

يبدأ التشكيل بهذه التقنية بتسخين خامات الزجاج و رفع درجة حرارتها حتى تصل الى درجة حرارة الليونة[4] ثم الى درجة حرارة الانصهار[5] التي يبدأ عندها الزجاج في تغيير شكله[6] و يبدأ في التدفق .

و لهذه التقنية عدة أساليب منها ما يلي :.

* التشكيل بالصهر فوق قالب .
* التشكيل بالتصفيح
* التشكيل بالصهر داخل قالب

و لإستكمال الاجزاء المفقودة من الأثريات الزجاجية من خلال بحثنا هذا تم استخدام اسلوب التشكيل بالصهر داخل قالب نظراً لتوافقه مع طبيعة الأثريات الزجاجية المصابة بظاهرة التأكل السطحي .

5-1-1- اسلوب التشكيل بالصهر داخل قالب :. Techniques of forming by fusing in a mould

تنفذ هذه التقنية باستخدام قوالب متعددة الانواع و لكل نوع منها اسلوب تقني خاص به . فمنها القوالب المفتوحة و القوالب ذات التجاريف و القوالب المغلقة و قد استخدمنا في بحثنا اسلوبي التشكيل في القوالب المغلقة و التشكيل في القوالب المفتوحة و استخدمنا لهذه التقنية يتطلب ما يلي :.

* عمل افراد هندسي على الورق لخطوط و شكل " Form " الأثر الزجاجي .
* مطابقة الافراد على الأثر بدقة و حرص شديدين لتحديد مكان و شكل الجزء المفقود على ورق الافراد الهندسي " هذه الخطوة لا تعرض الأثر لأية إجهادات " حيث يتم تنفيذ الافراد الهندسي على الورق باستخدام لوحة الرسم و الادوات الهندسية و بعيداً عن الأثر تماماً معتمداً على قياساته الهندسية " طول _ عرض _ ارتفاع _ قطر " و الشكل الخارجي و ما يحويه من زخارف بالاضافة لتحديد سمك الزجاج " التخانة " .

---

[4] درجة حرارة ليونة الزجاج المتكون من نفس الخامات التي استخدمت في العصور الاسلامية لدرجة تتراوح " 500 – 530 °c "

[5] درجة حرارة انصهار الزجاج المتكون من نفس خامات زجاج العصور الاسلامية و تتراوح " 850 – 900 °c "

[6] درجة حرارة تغيير الشكل للزجاج المصنع من نفس خامات العصور الاسلامية و تتراوح " 900 – 1000 °c "

* تنفذ التقنية التكنولوجية بكل دقة و حسب متطلبات كل اسلوب .

5-1-1-1- التشكيل بالصهر في القوالب المغلقة :.

في هذا الاسلوب تصنع الاشكال الاولية " النموذج " للجزء المفقود من الأثر و الذي تم تحديده على الرسم الهندسي من الطين الاسواني او الشمع او الفوم ، و يفضل الشمع لسهولة ازالته بعد تشكيل القالب الحراري عليه بواسطة بخار الماء و تعتمد هذه التقنية على ملئ القالب الحراري بخامة الزجاج المناسبة للتركيب الكيميائي للزجاج الأثري ثم " يصهر و يشكل ويبرد[7] " باستخدام افران حرارية خاصة من خلال اتباع الخطوات التالية :.

5-1-1-1-1- بعد ملئ قالب التشكيل الحراري " بخلطة الزجاج المجهزة لذلك و وضعه في فرن الصهر يتم ملئ وعاء حراري " بوتقة " بنفس الخلطة الزجاجية و يوضع في فرن الصهر أعلى قالب التشكيل .

5-1-1-1-2- ترفع درجة حرارة الفرن بالتدريج حسب المنحنى الحراري المحدد مع المتابعة الدقيقة لمستوى خلطة الزجاج داخل القالب ، نظراً لهبوط منسوب الزجاج داخل القالب أثناء عملية الصهر نتيجة انعدام الفراغات التي كانت موجودة بين حبيبات الخلطة قبل عملية الصهر .

5-1-1-1-3- يستكمل قالب التشكيل بعد ذلك بكمية مناسبة من مصهور الزجاج الموجود بالاناء " بوتقة " أعلى قالب التشكيل ، بحيث تتناسب الكمية الاضافية مع نسب الهبوط ، و نستمر في عملية الاستكمال أثناء الصهر حتى يتم ملئ جميع أجزاء القالب تماماً بالزجاج المنصهر .

5-1-1-1-4- نستمر في رفع درجة حرارة الفرن الى درجة حرارة الصهر المطلوبة ويتم تثبيتها لفترة معينة حتى يتم تجانس المصهور الزجاجي متخذاً شكل القالب تماماً ثم نبدأ في عملية التبريد الدقيق حسب المنحنى الحراري المحدد

5-1-1-1-5- و لحساب كمية الخلطة الزجاجية المناسبة لحجم و شكل قالب التشكيل يتبع الآتي :.

استخدام المعادلة التالية :.

وزن الشمع أو الطين المستخدم في عمل النموذج الأولي = الحجم × الكثافة " 1 "

بمعلومية وزن الشمع او الطين المستخدم و كثافته يمكن ايجاد الحجم الحقيقي للنموذج المشكل .

$$\therefore \text{الحجم} = \frac{\text{وزن الشمع أو الطين}}{\text{الكثافة}} \quad " 2 "$$

[7] و ذلك بالالتزام بالمنحنى الحراري المصمم حسب شكل و حجم و سمك المنتج " الجزء المفقود من الآثر

وزن الزجاج المطلوب لقالب التشكيل = الحجم × الكثافة .
و بمعلومية الحجم من المعادلة " 2 " و كثافة الزجاج المستخدم يمكن ايجاد وزن الزجاج المطلوب لملئ قالب التشكيل .

5-1-1-2- تقنية تشكيل الزجاج باسلوب الصب البوتقي في قالب مفتوح :. Crucible Pouring

و يتم تنفيذ هذه التقنية باتباع ما يلي :.

5-1-1-2-1- صهر مكونات الزجاج داخل بوتقة صهر خاصة و مناسبة لحجم المنتج و ذلك من خلال فرن الصهر في درجة حرارة لا تقل عن 900 °c.

5-1-1-2-2- بعد حصولنا على مصهور زجاجي تم التجانس نأخذ البويقة و نصب محتواها في قالب التشكيل المطابق للتصميم المطلوب " الجزء المراد استنساخه "

5-1-1-2-3- بعد اتمام عملية التشكيل ينقل المنتج الى فرن التبريد[8] حتى يتم تبريده تدريجياً من درجة حرارة التشكيل الى درجة حرارة الغرفة وفقاً للتدرج الحراري المناسب لحجم و سمك المنتج .

5-1-1-3- لنجاح عملية الصهر يتبع الآتي :.

5-1-1-3-1- تجانس حجم حبيبات الخلطة المكونة للزجاج و خلطها خلطا جيداً حتى يسهل صهرها دون انبعاث غازات تفاعل الخامات التي يتسبب تزايدها و استمرارها في تعرض حراريات قوالب التشكيل و حراريات فرن الصهر للتآكل و النحر .

5-1-1-3-2- ثبات او تقارب معامل التمدد الحراري لخامات الزجاج مع معامل التمدد الحراري للأثر الزجاجي نفسه ، و ذلك لتجنب الشروخ او الكسور على المنتج اثناء تثبيته في مكانه بجسم الأثر .

5-1-1-3-3- وصول مصهور الزجاج لأعلى درجات سيولته حتى يسهل ملئ قالب التشكيل بالمصهور دون حدوث أي فجوات هوائية غير مرغوبة في مظهر السطح الزجاجي .

5-1-1-3-4- تصميم قالب التشكيل من خليط يقاوم فعل درجات الحرارة العالية بالاضافة الى تمييزه بالصلابة وانعدام مساميته ونعومة سطحه ليسهل خروج المنتج منه دون التعرض منه لأية أثار غير مرغوبة.

5-1-2- استخدام تقنية المستوى الحراري الخامد في تثبيت الجزء البديل و المواد الزخرفية :.

تنحصر هذه التقنية في المستوى الحراري بين " 480 – 530 °c " التي يكون عندها الجسم الزجاجي ثابتاً و لكنه في حالة بداية الليونة[9] و عند هذه الدرجة يمكن ما يلي :.

---

[8] على ان يكون فرن التبريد في درجة حرارة مناسبة لاستقبال المنتج في درجة حرارة تشكيله منعاً لحدوث ما هو معروف بالصدمة الحرارية

[9] لا يتأثر شكله و لا يتغير بفعل هذه الحرارة

- التصاق الجسم الزجاجي مع جسم زجاجي آخر يكون في نفس درجة الحرارة دون إحداث أية تغيرات في الشكل و لا الحجم " لحام زجاج بزجاج " .
- استقبال الجسم الزجاجي لأية مواد ملونة[10] على ان تكون درجة حرارة ليونتها اقل من ليونة الزجاج الأصلي المستقبل لها ، و هذا يناسب عملية تثبيت الزخارف المموهة بالمينا و المذهبة على زجاج تركيبه الكيميائي و البنائي مماثل للتركيب الكيميائي و البنائي لزجاج العصور الاسلامية . لذا تم استخدام هذا الاسلوب الحراري في تثبيت الجزء الذي تم تصنيعه باسلوب الصهر داخل قالب في مكانه المحدد للاناء الاصلي مع تثبيت الزخارف على الجزء المستنسخ في آن واحد و دون استخدام أية قوالب :.

5-1-2-1- و تتم هذه التقنية من خلال ما يلي :.

5-1-2-1-1- بعد الحصول على الجزء الزجاجي المنفذ بتقنية الصهر في قالب نقوم بتنفيذ الرسوم الزخرفية عليه حتى يكون في مظهره و تكوينه مماثل تماماً للجزء المفقود من الأثر فلا يحدث خلل في القيمة الجمالية و الوظيفية للأثر .

5-1-2-1-2- إذا كان الأثر يحوي في مظهره الجمالي مجموعة متعددة من الزخارف " حفر ميكانيكي _ حفر كيميائي _ تمويه بالمينا _ تذهيب ..... الخ " فلابد مراعاة ذلك .

5-1-2-1-3- تنفيذ الزخارف بتقنية الحفر أولاً " ميكانيكي أو كيميائي " بالاسلوب التقني المعروف .

5-1-2-1-4- تنفيذ زخارف التمويه بالمينا ثم يأتي التذهيب في آخر أعمال الزخرفة ، بحيث تتم كل عملية على حدة وباستخدام الاساليب التقنية الخاصة بها .

5-1-2-1-5- أن تكون المواد المكونة للمينا و الذهيب من نفس التركيب الموجود على أثريات العصور الاسلامية بحيث تكون درجة حرارة ليونتها أقل من درجة حرارة الزجاج الأصلي الحامل لها "الزجاج الأم ".

و ذلك لعدم تعرض الجزء التعويضي من الزجاج لأية حالة تخل بمظهره الجمالي أو وظيفته المرتبطة بحجمه و سمكه .

5-1-2-1-6- بعد الانتهاء من تطبيق التقنيات الزخرفية على الجزء الزجاجي المستنسخ يتم وضعه في الفرن لاتمام عملية التثبيت .

5-1-2-2- تتم عملية التثبيت النهائي كما يلي :.

5-1-2-2-1- يثبت الجزء الزجاجي المستنسخ في مكانه بالاناء الاصلي ليحل محل الجزء المفقود حيث يثبت تثبيتاً مبدأياً باستخدام المواد اللاصقة كالصمغ العربي[11] .

5-1-2-2-2- يوضع الاناء الزجاجي كاملاً في فرن التثبيت الحراري بعد عزل أرفف الفرن بالاسبداج أو رقائق الالمونيوم لعدم التصاق الآنية الزجاجية بحراريات الفرن .

---

[10] حيث تتغلغل هذه الملونات بالسطح الزجاجي و يصبحان جزءاً واحداً

[11] هو أنسب انواع المواد اللاصقة المؤقتة لأنه لا يحتاج معالجات حرارية أو كيميائية عند استخدامه أو إزالته

5-1-2-2-3- تضبط حرارة الفرن حيث يتم رفعها بالتدريج البطيء حسب المنحنى الحراري الخاص بهذه التقنية حيث يتم رفع درجة حرارة الفرن من درجة حرارة الغرفة الى درجة حرارة تتراوح "480–530 °c" ثم البقاء فترة معينة عند هذه الدرجة لاكتمال التصاق و اندماج الجزء الزجاجي المستنسخ بجسم الاناء الاصلي و كذلك تثبيت الزخارف و اندماجها بالسطح .

5-1-2-2-4- بعد التأكد من تمام الخطوة السابقة و الإنتهاء من فترة البقاء يتم النزول بدرجة حرارة الفرن الى درجة حرارة الغرفة بالتدريج البطيء أيضاً و حسب المنحنى الحراري المحدد .

5-1-2-2-5- نخرج المنتج من الفرن فنجده في أحسن هيئة حيث تم تخليصه من بعض مظاهر التلف[12] بفعل الحرارة ، ثم يتم تغليفه و حفظه لحين نقله للعرض المتحفي .

و من هنا نجد ان عملية الترميم تمت بعناية و حرص شديدين و دون استخدام اية الات حادة او مواد كيميائية يمكن تفاعلها مع الأثر و تغير خصائصه بل نجد أن هذه التقنية ساعدت على التخلص من معظم أثار التلف الموجودة على الآنية الزجاجية .

5-1-3- القوالب المستخدمة في تنفيذ الجزء المفقود من الأثر .

توجد نوعية من القوالب تعرف بالقوالب المعدنية[13] او القوالب الدائمة وهذه يمكن استخدامها مرات عديدة أما في حالة انتاج القطعة الواحدة فنستخدم القوالب الحرارية ، و هي المستخدمة في تطبيقات بحثنا هذا ، و ذلك لقلة تكلفتها عن القوالب المعدنية ، و لسهولة و سرعة تشكيلها ، خاصة و أن المنتج هنا ليس بالانتاج الكمي في شيء بل هو منتج يتميز بالتفرد والى جانب ما يحمله من خصائص فنية و قيم جمالية آثرية غاية في الثراء و لم يتم تصنيع القوالب الا بعد تصنيع النموذج اولاً خاصة و ان مرحلة اعداد النموذج من اهم خطوات تصميم و تنفيذ المنتج فهو يساعد على اظهار القيم الشكلية و الوظيفية للآنية و كذلك دقة ابعادها و احجامها و علاقتها بالوظيفة الى جانب اظهارها للقيم التشكيلية النحتية الموجودة على السطح مثل الزخارف النحتية البارزة و الغائرة " زخارف الاختام " فاتقان صناعة النموذج يترتب عليه نجاح صناعة القالب و بالتالي الحصول على منتج مطابق لمواصفات الجودة المطلوب تحقيقها .

و النماذج تصنع من خامات عديدة مثل " الطين _ والفوم _ الجبس _ الخشب_البولي استر_الشمع ...الخ ".

و يتوقف نوع الخامة المنفذ بها النموذج على ما يلي :-

- مهارة المصمم او صانع النماذج في استخدام خامة عن اخرى .

---

[12] كظاهرة العتامة و الصدأ و الشروخ الدقيقة و الطبقات البيولوجية .....الخ

[13] تصنح من الحديد الزهر أو الحديد الزهر المعالج بالنيكل كروم أو الزهر المرن المعالج بالماغنيسيوم و الفسفور و قوالب الصلب المعالج بالنيكل كروم و يصنع بطريقة السبك

- تناسب الخامة لاجزاء النموذج خاصة في نماذج الاتية ذات الايدي و الساكب او مناطق اختناق " مناطق ضيقة.... الخ ".
- شكل و حجم النموذج .

و في بحثنا هذا يمكن استخدام الشمع او البولي استر او الطين , حتى لا نحصل على ملامس او مسام غير مرغوب فيها , ولكننا نفضل عمل النموذج الاولي من الشمع لسهولة التخلص منه[14] بعد نسخ القالب عليه .

1-3-1-5 قوالب القطعة الواحدة " المفتوحة غير العميقة " :.

يمكن استخدامها اكثر من مرة خاصة اذا صنعت و استخدمت باتقان , ولسهولة استخدامها في عملية صهر الزجاج يراعي خلوها من المسام و يكون ملمسها شديد النعومة لدرجة تساعد على سهولة انفصال الزجاج عن سطح القالب بعد اتمام عملية السهر و التشكيل للمنتج , و هذا ما يوضحه شكل رقم " 6 – 5 " و المكون الاساسي لهذه القوالب سواء كانت مفتوحة او مغلقة هو عنصر الجبس مع اضافة بعض المواد الاخرى كالرمل او الطوب الحراري .

و تتكون هذه النوعية من القوالب من المكونات التالية :.

% 45 جبس % 45 رمل فضي أو كريستوباليت % 10طوب حراري " جروج "[15] .

و يلاحظ أنه كلما زادت نسبة السيليكا في خلطة القالب قلت الشروخ و قلة نسبة الانكماش في درجات الحرارة العالية و هذا ما يوضحه جدول " 4 " ويمكن تصنيع هذه النوعية من القوالب بأحد المكونات الأتية :.

خلفه رقم 1

100 جزء جبس	100 جزء سيليكا
20 جزء طين حراري	20 جزء ألياف ألمونيوم
2 جزء ورق مقوي	

و هذه المكونات نسبة وزن يضاف اليها $170\ cm^3$ ماء يخلطها جيداً ثم صبها فوق النموذج المحدد للشكل .

مع مراعاة تبليل النموذج بالماء أولاً و احاطته باطار معدني أو بلاستيك أو زجاج و ذلك لإحتواء الخليط المكون للقالب و تحديد سمكه ثم يترك يجف مدة تتراوح ما بين " 5 " 20 – دقيقة ثم ينزع الاطار الحاوي للحراريات المكونة للقالب و بعد تمام الجفاف ينزع النموذج من داخل القالب و ينظف سطح القالب الداخلي جيداً للتخلص من اية اثار لمادة النموذج ممكن تكون عالقة بالسطح الداخلي للقالب و تتميز القوالب المصنوعة من هذه

[14] باستخدام حلة طغط مزودة بخرطوم حيث يوجه البخار الى نموزج الشمع داخل القالب فيذوب و يتساقط ثم يغسل القالب بالماء المغلي

[15] مسحوق حراريات هالكة سبق استخدامها

المكونات بقلة تشققها و انكماشها نظراً لتناسب نسبة السيليكا مع الجبس بالاضافة لزيادة مقاومتها الحرارية لاستخدام الياف الالومونيا .

خلطة رقم 2 تتكون مما يلي :-

26 % جبس — 10 % رمل مطحون " سيليكا "

22 % كاولين متكلس — 37 % رمل محبب " سيليكا خشنة "

5 % كاولين عادي .

و تصنع هذه النوعية من القوالب بخلط مكوناتها بعد تجهيزها خلطاً جيداً بواسطة الرش و التزرير فوق سطح الماء حتى يتشبع ثم يقلب باليد في حركة دائرية بسيطة حتى نحصل على مكون قوامه يشبه الكريمة .

ثم يصب هذا المكون فوق النموذج الاولي بعد احاطته بمواد عازلة على مسافات تتناسب مع سمك القالب . و يترك ليجف ثم ينزع النموذج من داخل القالب و ينظف مكانه جيداً ثم تجفف القوالب في فرن تجفيف خاص بذلك و تستخدم

خلطة رقم 3 و تتكون مما يلي :.

60 % شامون مطحون ينفذ من " 250 مش " — 20 % جبس

10 % جروج — 10 % نشارة خشب ناعم

تخلط هذه المكونات و تمزج جيداً و يضاف اليها الماء بالتدريج حتى نحصل على مكون متماسك القوام ، ثم نقوم بصبه فوق النموذج كما في النوعية السابقة و نخرج النموذج من داخل القالب و يتم تنظيف أسطحه الداخلية ثم يجفف و يستخدم

5-1-3-2- قوالب متعددة الاجزاء (عميقة) :.

و هذه النوعية من القوالب لابد أن يكون الجبس عنصر أساسي في تكوينها و يمكن تحضيرها بإحدى المكونين التالين:.

المكون الاول :.

33.5 % جبس — 44.5 % طين أسواني

22 % كاولين

و تتميز القوالب المصنعة من هذه المكونات بارتفاع صلادتها و قلة شروخها بعد الحرق و تحملها لدرجات

الحرارة العالية ، و يمكن استخدام هذه القوالب بدون اضافة مادة عازلة لمنع التصاق الزجاج داخلها بعد

تشكيله ، هذا بالاضافة الى أنه يمكن استخدامها أكثر من مرة .

المكون الثاني :.

50 % جبس — 35 % كوارتز

15 % خليط من الجبس و الكوارتز " تم حرقه و طحنه " .

و تتميز هذه القوالب بقوة تحملها للحرارة و تناسبها بانتاج الاشكال حادة الزوايا " Under cut " أو الاشكال التي بها زخارف نحتية " بارذ و غائر " او ذات الايدي .... الخ . و ذلك لسهولة تفتيت القالب بعد استخدامه فيخرج منه المنتج الزجاجي بسهولة و دون أن يتعرض للكسر .

5-1-3-3- عند تصميم القوالب الحرارية يراعي ما يلي :.

- عمل فتحات تهوية على جانبي اجزاء القالب .
- عمل مخارج دقيقة للهواء في المناطق التي تحتوي زخارف نحتية عميقة في القالب و كذلك الاجزاء الضيقة .
- تصميم القالب بحيث يحتوي على دليل " مفاتيح " تساعد على أحكام الغلق بين أجزاؤه .
- عمل ايادي و مفصلات للقالب المتعدد الاجزاء للتحكم في عملية فتحه و غلقه بسهولة عند استخدامه .
- تنفذ القوالب باستخدام عدة مواد حرارية معاً ، لذلك لابد من تميز الحراريات بخواص مناسبة لذلك .

5-1-3-4- خواص المواد الحرارية المستخدمة في تشكيل القوالب :.

- تتباين خواص المواد الحرارية حسب الخامات المستخدمة في تكوينها و نسبها المختلفة بالاضافة لطريقة تكوين الطينة الحرارية و تجفيفها ثم حرقها .

- لذا لابد من توافر عدة خصائص للحراريات المستخدمة منها ما يلي :.

- عدم تأثرها بدرجات الحرارة المعرضة لها . - تتمدد و تنكمش بانتظام و في حدود ضيقة .
- قابليتها للسبك من حيث الليونة و المرونة لفترة معينة . - عدم تأثرها بالجو المحيط بظروف التشغيل .
- الوصول الى درجة الصلابة المطلوبة قبل و بعد الحريق .
- تماثل تمددها و انكماشها مع الزجاج و كذلك معدل انتشار الحرارة بها Thermal diffusuvity .

6- الافران التي استخدمت لهذا البحث :.

توجد انواع متعددة من الافران الخاصة لصهر و تشكيل الزجاج و منها ما يلي :.

- افران غازية GAS FURNACES - افران كهربائية ELECTRIC FURNACES

ولكل منها نوعين من الافران , افران مفتوحة و افران مغلقة .

6 – 1 – و ينحصر الفرق بينهما فيما يلي :

6 – 1 – 1 – الفرن المفتوح :.

يتكون من غرفتين يتم خلالها تبادل قوالب تشكيل الزجاج بين غرفة الصهر وغرفة التبريد الملاصقة لها و ذلك بعد اتمام عملية الصهر .

6 – 1 – 2 – الفرن المغلق :.

يحتوي على غرفة واحدة تستخدم للصهر و التبريد معاً و سواء استخدمنا النوع الغازي او الكهربائي فمبدا التسخين واحد , حيث انه في كل حالة لابد ان يمرالزجاج بنفس مراحل التسخين قبل الصهر ثم التبريد التدريجي بعد ذلك رغم ان عامل الوقت قد يختلف في النوعين .

6 – 2 – الأفران الغازية :.

و منها الانواع التالية

6-2-1- نوع مزود بعدد من مشعلات الغاز موضوع على مسافات جانب غرفة الصهر من اعلى حيث تنعكس الحرارة الى اسفل نحو سطح الزجاج , و هذه النوعية ليست مناسبة تماماً لضمان انتظام التوزيع الحراري بالاضافة الى انها تؤثر على مظهر الزجاج المنتج .

6 – 2 – 2 – نوع مزود بجهاز لدفع خليط الغازو الهواء لاعلى داخل الفرن من خلال انبوبة واحدة ثم يوجه الى اسفل و هذا الجهاز محمول على طوبة حرارية مسامية و هي نفسها تشكل سطح غرفة الصهر و يخرج الغاز في اتجاه السطح السفلي للطوبة الحاملة و يكون في البداية شعلة زرقاء ثم يتحول تدريجياً الى اللون الاحمر كلما ارتفعت درجة الحرارة و الشكل رقم " 7 " يوضح الفرن الغازي .

6 – 2 – 3 – نوع اخر يعتبر تعديل للنوع السابق حيث يوجد به اربعة شعلات من كل جانب وغرفة الصهر تنقسم لاربعة اقسام مما يحسن انتظام التوزيع الحراري للفرن وهذا ما توضحه الاشكال " 8 & 9 &10& 11".

6 – 2 – 4 – و لاستخدام هذه الافران يتبع الاتي :.

6 – 2 – 4 – 1 – بالرغم من ان النوعين الاول و الثاني يعملان بالغاز الا انه من المهم تزويدهما بمصدر كهربائي لادارة الموتور الذي يغذي الفرن بخليط الغاز و الهواء .

6 – 2 – 4 – 2 – استخدام الغاز ساخناً بدرجة تكفي للتخلص من نسبة الماء الموجودة به حتي لا تتكثف على سطح الزجاج عند الاحتراق .

6 – 2 – 4– 3 – تسخين الفرن اولاً لطرد الرطوبة الموجودة بالطوب الحراري .

6 – 2 – 4 – 4 – يشعل الفرن باستخدام عصا طويلة مثبت بنهايتها ولاعة خاصة بذلك مع مراعاة انتظام ضغط الغاز في ضغط متوسط لمدة تتراوح ما بين " 20 – 15" دقيقة و بعدها يدفع تدريجياً بالضغط المطلوب للتشغيل و تتميز الافران الغازية برخص ثمن مكوناتها ووقودها عن الافران الكهربائية .

6-3- الافران الكهربائية :.

و تسمى بالافران المغلقة و تتكون مما يلي :.

6-3-1- جسم الفرن :. و هو من الصلب و به باب من الجانب أو من أعلى حسب تصميم الفرن و به فتحة للمراقبة تغلق أثناء الصهر لمنع التسرب .

6-3-2- غرفة الصهر :. و تبنى على الجسم الصلب للفرن من الداخل بالطوب الحراري و بها اسلاك من النيكل كروم موزعة على جوانب الفرن الأربعة أو من جانبين فقط أو من أعلى و أفضل توزيع هو من الثلاث جوانب و الباب لضمان تساوي و انتظام التوزيع الحراري .

6-3-3 - **مقياس درجة الحرارة :.** Pyrometers

و يتكون من جزئين :.

6-3-3-1- المزدوجة الحرارية :. Thermocouple

و تعتمد على الجهد الكهربائي بين سلكين من مادتين مختلفين " بلاتين _ رديوم " و مغلفان بمادة مقاومة للحرارة " سيليكا " و يتصلان بجلفانومتر .

و عندما ترتفع درجة الحرارة في السلكين يتولد حوالي 1 ميللي فولت لكل 100 °c حسب نوع معدن السلك.

6-3-3-2- المؤشر الحراري :. Thermal indicator

و يتكون من :. تدرج حراري

- مؤشر حراري و يثبيت قبل التشغيل على درجة الحرارة المطلوبة .
- مؤشر يظهر درجة حرارة الفرن .
- مفتاح التحكم في المؤشر الحراري .
- مفتاح لفصل الكهرباء ذاتياً عند الوصول بالفرن للحرارة المطلوبة .

6-3-3-3- المقاومة المتغيرة :. Rheostat

هي جزء ينظم الاداء الحراري للفرن " تشغيل / إيقاف " مما يزيد من عملية التحكم في درجة حرارة الفرن . و ذلك بإمتصاصها للكهرباء ، و إعادة تدفقها بما يناسب حرارة الفرن .

6-3-4- مفاتيح كهربائية :.

للتحكم في القوة الرئيسية للفرن و التشغيل و الإيقاف و الفصل الذاتي عند فتح باب الفرن و يوجد حالياً أفران مزودة بوحدة برمجة و يتم برمجتها حسب المنحنى الحراري المطلوب و تتميز الافران الكهربائية بسهولة تشغيلها و دقة التحكم في درجة حرارتها و خلوها من الدخان و الابخرة الضارة الناتجة عن عملية احتراق الوقود الصلب أو السائل أو الغازي ، هذا بالضافة الى توفر عنصر الامان و جودة منتجاتها .

6-4- و عند استخدام الافران يراعي الآتي :.

6-4-1- التأكد من وضع الفرن في مكانه المناسب لسهولة تشغيله سواء لمستخدمي اليد اليمنى أو اليسرى مع مراعاة أن وضع الفرن في الركن يصعب استخدامه .

6-4-2- التأكد من وضع قطعة الزجاج بحيث تظهر من فتحة المراقبة .

6-4-3- استخدام المساند و الاعمدة الحرارية عند وضع اكثر من قالب تشكيل داخل الفرن .

4-4-6- استخدام الماسك و الواقي لليد و الوجه عند تناول القوالب من غرفة الصهر لغرفة التبريد .

7- التبريد :. Annealing

يتوقف معدل التبريد على سمك الزجاج المراد تبريده و شكله و حجمه و كذلك التركيب الكيميائي للزجاج المستخدم هذا بالاضافة الى تحديد درجة الحرارة اللازمة للتبريد .

7-1- تصميم المنحنى الحراري الخاص بعملية انتاج الجزء البديل و تثبيته لأثر الاصلي :.

اعتمدنا في بحثنا هذا على استخدام المنحنى الحراري المعروف " بمنحنى توماس " و ذلك بعد ادخال بعض التعديلات عليه ليتناسب مع عمليتي الصهر و التبريد اللازمين لعملية ترميم و استكمال الأثر الزجاجي و هذا من خلال اتباع الطرق التالية :.

7-1-1- تصميم المنحنى الحراري الخاص بانتاج الجزء البديل :.

و قد اعتمد هذا المنحنى على ما يلي :.

- رفع درجة حرارة الخلطة المكونة للزجاج من درجة حرارة الغرفة الى درجة حرارة انصهار الخلطة و التي تحددت حسب نوعية التركيب الكيميائي للزجاج و هي " 900 °c " .
- تثبيت المصهور عند درجة حرارة " 900 °c " لفترة معينة لتمام تجانسه و الحصول على اللزوجة المناسبة لملأ اجزاء القالب تماماً بهذا المصهور .
- النزول بدرجة الحرارة الى درجة حرارة التشكيل و هي " 850 °c " . و فيها تزداد لزوجة المصهور الزجاجي متخذاً شكل القالب .
- تثبيت درجة حرارة التشكيل لفترة محددة لتمام عملية التشكيل .
- النزول بدرجة حرارة التشكيل الى درجة حرارة التبريد التي يتم تحديدها حسب حجم و سمك المنج .

نستمر في عملية التبريد حسب الخطوات المحددة حتى نصل بالمنتج الى درجة حرارة الغرفة دون أن يتعرض للتبلور أو الشروخ الغير ظاهرية ، مع مراعاة ما يلي :.

- درجة حرارة الغرفة 25 °c
- سمك الزجاج 4ملم
- درجة حرارة التبريد 530 °c

7-1-2- و قد تم تصميم المنحنى الحراري باتباع الخطوات التالية :.

- معدل ارتفاع درجة الحرارة = $\frac{4.5}{d^2}$ ← ثابت ، ← سمك الزجاج

$$\frac{4.5}{0.16} = 28.12 \text{ درجة / الدقيقة}$$

- الزمن اللازم لرفع درجة الحرارة من الغرفة الى الانصهار = $\frac{875}{28.12} = 12$ دقيقة **"1"**

- الزمن اللازم لبقاء المصهور عند درجة الانصهار = متوسط مجموع " السمك × 2 + السمك × 3

= $\frac{1.2 + 0.8}{2}$ = 1 دقيقة **" 2 "**

- معدل نزول درجة حرارة المصهور الى حرارة التشكيل = $\frac{3.6}{d^2}$ ثابت ← 3.6 = $\frac{3.6}{0.16}$ / الدقيقة .

- الزمن اللازم للوصول الى درجة التشكيل = $\frac{320}{22.5}$ 14.2 دقيقة **" 3 "**

- الزمن اللازم البقاء عند درجة التشكيل = متوسط مجموع " السمك × 2+ السمك×3

= 1 دقيقة **" 4 "**

- معدل النزول بدرجة التشكيل الى التبريد = $\frac{1.3}{d^2}$ ثابت ← 1.3 = $\frac{1.3}{0.16}$ 8. درجة / الدقيقة

- الزمن اللازم للنزول من التشكيل الى التبريد = $\frac{50}{8.13}$ = 6.15 دقيقة **" 5 "**

- الزمن اللازم للبقاء في درجة التبريد = 1 دقيقة **" 6 "**

- معدل التبريد البطيء : $\frac{1.3}{d^2}$ = 8.13 درجة / الدقيقة

- الزمن اللازم للتبريد البطيء = $\frac{100}{8.13}$ = 12.30 دقيقة **" 7 "**

- معدل التبريد السريع = $\frac{3.6}{d^2}$ 22.5 درجة / الدقيقة

- الزمن اللازم للتبريد السريع = $\frac{405}{22.5}$: 18.0 دقيقة **" 8 "**

الزمن الكلي اللازم لانتاج الجزء البديل = مجموع أزمنة خطوات العملية الانتاجية كاملة :.

= 18.0 + 12.30 + 1 + 6.15 + 1 + 14.2 + 1 + 13.12 = 84.77 دقيقة = 85 دقيقة

و بهذا تم انتاج الجزء البديل .

7-1-3- تصميم المنحنى الحراري الخاص البديل مكان الجزء المفقود من الأثر الزجاجي و كذلك تثبيت زخارفه " تمويه بالمينا _ تذهيب " حسب خطوات المنحنى الحراري التالي :.

- مرحلة التدفئة = درجة حرارة التبريد + 20 °c

أي نرفع درجة حرارة الفرن من درجة حرارة الغرفة بمقدار 20 °c وبالمعدل المحسوب لفترة البقاء في المنحنى السابق أي بمعدل " 1 " درجة / الدقيقة .

* الزمن اللازم للتدفئة = 20 دقيقة **" 1 "**

- معدل ارتفاع درجة الحرارة حتى التثبيت = $\frac{4.5}{d^2}$ = 28.13 درجة / دقيقة

- الزمن اللازم لإرتفاع الحرارة الى درجة التثبيت = $\frac{535}{28.18}$ 1 دقيقة **" 2"**

- زمن بقاء المنتج عند درجة حرارة التثبيت = 1 دقيقة **" 3 "**

- معدل التبريد البطيء = $\frac{1.3}{d^2}$ 8.13 درجة / الدقيقة

- زمن التبريد البطيء = $\frac{100}{8.13}$ 12.30 **" 4 "**

- معدل التبريد السريع = $\frac{3.6}{d^2}$: 22.5 درجة / دقيقة

زمن التبريد السريع = $\frac{435}{22.5}$ = 19.33 دقيقة **" 5 "**

- المعدل اللازم للتدفئة = $\frac{1.3}{d^2}$: 8.13 درجة / الدقيقة

- زمن التدفئة = $\frac{20}{8.13}$ 2.46 دقيقة **" 6 "**

* الزمن الكلي اللازم لعملية التثبيت = 2.46 + 19.33 + 12.3 + 1 + 19 + 20 = 74.09 دقيقة = 74 دقيقة

7-1-4- معامل التمدد الطولي و تبريد الزجاج :.

- يرتبط معامل التمدد الطولي بنوعيه و تركيب الزجاج المراد تبريده و لنجاح عملية انتاج الزجاج و تبريده لابد من معرفة ما يلي :.

- التركيب الكيميائي للزجاج و نسب كل عنصر - سمك المنتج و شكله و حجمه

- تحديد درجة حرارة التحول " Tg " تقع بين التبريد السريع و البطيء و عندها يزداد معامل التمدد .
- درجة حرارة الليونة " TD " تقع فوق درجة الحرارة العليا و عندها تزداد ليونة الزجاج .
- درجة تغيير الشكل " Mg " تسبق درجة الليونة و عندها يبدأ المنحنى في تغيير شكله .
- درجة حرارة التبريد العلية (السريع) " Tu " تقع أعلى من التحول .
- درجة حرارة التبريد السفلي (البطيء) " TL " تقع قبل التحول .

و هذا ما يوضحه المنحني رقم " 1 "

7-1-5- لنجاح عملية ترميم و استكمال الاجزاء الأثرية حرارياً يراعي الآتي :.

- عدم فتح باب الفرن أثناء مراحل التبريد ، و غلق كل فتحات المراقبة و في الافران الغازية تغلق المدخنة.
- تشغيل و ايقاف الملفات الكهربائية معاً للمحافظة على انتظام حرارة التبريد .
- اذا كان هناك أجزاء من المنتج الزجاجي غائرة داخل القالب فمن الضروري المحافظة على الاجزاء المعرضة[16] لجو الفرن ساخنة أيضاً ، و ذلك بعمل وعاء حراري[17] يوضع أعلى المنتج قبل البدء في عملية الانتاج .
- استخدام جهاز قياس الحرارة Thermocouple ذو كفاء عالية ، حتى لا يحدث فرق في تقدير درجات الحرارة ، و للتغلب على ذلك يمكن استخدام عدة أجهزة قياس حراري عند نقاط مختلفة و أخذ متوسط الحرارة بينهم للوقوف على انتظام التوزيع الحراري من عدمه .
- نختبر جودة تبريد المنتجات بعد اتمام انتاجها عن طريق استخدام جهاز البولاريسكوب[18] Polariscope ، فإذا كان الزجاج به نسبة من الاجهاد المسموح به أو أقل فيكون منتج جيد المواصفات و العكس صحيح .

و الجدول رقم " 5 " يوضح الألوان الدالة على نسبة الاجهاد .

و باستخدام طريقة المعالجات الحرارية هذه في ترميم و استكمال الاجزاء المفقودة للأثريات الزجاجية الاسلامية أمكننا التوصل الى النتائج و التوصيات التالية .

8 - النتائج :.

* أمكننا استنساخ الاجزاء المفقودة من الأثر بنفس التركيب البنائي و الكيميائي .
* أمكننا تطبيق الزخارف على الاسطح الزجاجية لاكتمال مظهرها الجمالي و تأكيده .

---

[16] الأجزاء البارزة على سطح القالب

[17] يحافظ على التوازن الحراري

[18] جهاز يتكون من قرص يستقطب الضوء و قرص آخر يحلل الضوء و يضع المنتج الزجاجي بينهما لقياس جودته فتظهر عليه الألوان الدالة على نسبة الإجهاد الموجود به

* أمكننا تثبيت الجزء المستنسخ في مكانه بالآثر الزجاجي أثناء تثبيت الزخارف عليه دون التعرض للآثر بأية آلة حادة أو مادة كيميائية قد تؤدي به .
* أمكننا تصميم جداول و منحنيات حرارية خاصة بهذه التقنية و مرتبطة بمنحنى توماس أثناء عملية تثبيت الجزء المستنسخ في مكانه بالأثر امكننا معالجة الأسطح الزجاجية المصابة بظاهرة التآكل السطحي "كالتنفير _والتشميس_والشروخ السطحية والرطوبة .. الخ" و ذلك بفعل الحرارة المستخدمة التي عملت على تقوية البناء الاساسي للمنتج و تخلصه مما أصابه من مظاهر التلف .
* عدم استخدام المواد اللاصقة الكيميائية في هذه التقنية ساعد على المحافظة على الاسطح الزجاجية دون التعرض للتلف أو التسبب في فنائها خاصة و أنه هناك بعض الكيماويات التي تتسبب في فناء الأثر الزجاجي نتيجة تفاعلها مع التركيب البنائي للأثر ، هذا الى جانب عدم استخدام الآلات الحادة .

9– التوصيات :.من خلال هذا البحث نوصي بالآتي :.

- التأكيد على دور مصمم الزجاج وفاعليته في حل مشكلات ترميم الآثريات الزجاجية المجسمة منها و
المسطحة .
- استخدام تقنية المعالجات الحرارية كمجال من مجالات معالجة و صيانة الآثريات الزجاجية .
- ادراج هذه التقنية ضمن برامج التدريب في مجال الترميم خاصة لأنها تحتاج لمهارات تكنولوجية و علمية عالية .
- عدم استخام هذه التقنية في حالة الأثريات المتهالكة البنيان .

10- المراجع :.

1- الفريد لوكاس " المواد و الصناعات عند قدماء المصريين . ترجمة ذكي اسكندر و محمد زكريا . 1993
2- جاد ابراهيم اسكارس _ " صناعة الزجاج في مصر القديمة " مجلة رسالة العلم العدد الثالث سبتمبر 1966
3- رمضان عوش " الأثار الزجاجية المزخرفة بالمينا و المموهة بالذهب " رسالة ماجيستير و كلية الأثار جامعة القاهرة 1999
4- سلوى جاد الكريم " استعراض مظاهر تلف الزجاج في العصور الاسلامية المختلفة " بحث منشور كلية الأثار . جامعة القاهرة 2001
5- فاطمة الشناوي " اعتبارات تبريد المنتجات الزجاجية في ضوء ترشيد الطاقة " رسالة دكتوراه كلية الفنون التطبيقية . جامعة حلوان 1995
6- فاطمة الشناوي _ تكنولوجيا أفران صهر الزجاج و تكنولوجيا أفران تبريد الزجاج _ محاضرات لطلبة مرحلة البكالوريوس . كلية الفنون التطبيقية . جامعة حلوان . 1996

7- فاطمة الشناوي _ ترشيد الطاقة و أثرها في أفران صهر الزجاج . بحث منشور : مؤتمر القاهرة الدولي السادس للطاقة و البيئة 1998
8- فاطمة الشناوي _ صهر مخلفات الزجاج المسطح لإنتاج الزجاج النحتي _ بحث منشور المؤتمر العلمي السادس . كلية الفنون التطبيقية . جامعة حلوان 1999
10- Boyce londstrom & Daniel Schwoerer . glass fusing vitreous publication .
11- charles Bary " Dictionary of Glass Material and techmiques A&C Blocf 1995
12 – E'melvaret & D.E. Tohnson " Decorative motilds " Glass technology 1987 .
13 – Frank kulasiewicg . Glass lilouing . pulilicatins / New york . pitman pulilishing London .
14 – " Frederic & lilli sculer . ' glass frming . Glass making for the craftsman " pitman pulilishing 1971 .
15 – Huang . C .& cormack . A. N . the stwcture of Sodium . Silicate glass Jowrned of chemical physics . NO . 93 . 1990
16- internet " Fusing with Spectrum Glass " http://www.Spectrumglass.com/ Fuse/Firing
17- Ryan . J . & Maphail . D . Glass deterioration in the museum invironment Triennial meeting " 11th " Edinburgh . U . K Sep . 1996
18- T . F . Ensor mould materials glass technology . 1990
19- The . corning museum of glass Science technology . resource for glass properties of glass , chemical , corning NY.U.S.A 1997

1-1 أهم الخواص الفيزيائية للزجاج

اللزوجة Viscosity	درجة حرارة الليونة Plastic temprature	التوصيل الحراري Thermal or heat transmission	درجة الانصهار Melting point	المسامية Porosity	الكثافة Density	نقطة التصلد Solid point	الخواص الميكانيكية			الخواص الضوئية Optical properties
							الصلادة Hardness	المتانة Durability	المرونة Flesei bilits	
يتميز الزجاج بزيادة لزوجته كلما انخفضت درجة حرارته و هذا يرتبط بالتركيب الكيميائي للزجاج و تصل درجة لزوجة الزجاج الى 10^{-13}بواز	هي نقطة ما بعد تغيير الشكل على منحنى التمدد الحراري و تكون عندها ليونة الزجاج كافية لتشكيله و هي عند درجة حرارة 650°c	الزجاج موصل ردئ للحرارة و زجاج السيلكا هو أكثر أنواع الزجاج توصيلاً للحرارة و تمدده الحراري منتظماً من درجة حرارة Zero الى درجة حرارة 850°cو بعد هذه الدرجة يحدث تغير مفاجئ في معدل التمدد الحراري	تتوقف على التركيب الكيميائي للزجاج فالسيليكا تحتاج ادرجات حرارة عالية حتى تنصهر و بإضلفة نسبة القلوى (صوديوم-بوتاسيوم) فتخفض من درجة حرارة انصهار الزجاج ومتوسط درجة حرارة انصهار الزجاج الأثري الإسلامي -900 1000°c	الزجاج عديم المسام غير منفذ للسوائل والغازات تحت الضغوط العالية في درجات الحرارة المختلفة خاصة الزجاج غير المتبلور وهناك أنواع من الزجاج منفذة لغازي الأيدروجين والهيليوم وزجاج السيليكا جير صوديوم وزجاج البورسليكات أقل انواع الزجاج نفاذية لغازي الايدروجين والهيليوم	ترتبط بالتركيب الكيميائي فزجاج الرصاص تزداد كثافة عن زجاج الصودا جير سيلييكا و تقدر كثافة الزجاج بحوالي " 1.5-3.5% أو 2.5 كجم / م^2	درجة الحرارة الفاصلة بين درجة حرارة الصلابة و السيولة دون حدوث تبلور . أي عندما يتحول الزجاج من حالة المصهور الى حالة المبرد و هي عند درجة حرارة " 450°c"	يتميز الزجاج بمقاومته للخدش بجسم آخر و تختلف هذه المقاومة تبعاً للتركيب الكيميائي فالزجاج الرصاصي أقل انواع الزجاج مقاومة للخدش أما زجاج السيليكا جير صوديوم هو أكثر الانواع مقاومة للخدش و تقاس الصلادة بمقياس موه للصلاده	الزجاج مادة سهلة الكسر نظراً لطبيعة تركيبه الكيميائي فتواجد أية شروخ على سطحه و تحت أية ضغوط تتوغل الشروخ لداخل جسم الزجاج و تزداد متانته بزيادة نسبة السيليكا و الالمنيوم أما زيادة نسبة القلوي فتقلل من متانته . و تصل متانة الزجاج الصوديومي الى9 كجم / اليوصة ^{2}	تظهر مرونة الزجاج في حالة المصهور فيسهل تشكيله أو سحبه أما في حالة تبريده فيتحول لمادة غير مرنة و هو يمتص الذبذبات الضعيفة .	الزجاج مادة شفافة منفذه للضوء " أشعة فوق بنفسيجية _ أشعة تحت الحمراء _ الضوء المرئي " و ذلك بسبب التركيب العشوائي لذرات الزجاج التي تساعد على مرور الضوء و تذبذبه في جميع الاتجاهات فالزجاج مادة متشابهة بصرياً نظراً (لفصيلة المكعب) التي تؤدي الى تساوي أطوال المحاور البلورية لذا تكون سرعة الضوء واحدة في جميع الاتجاهات .

جدول رقم " 1 "

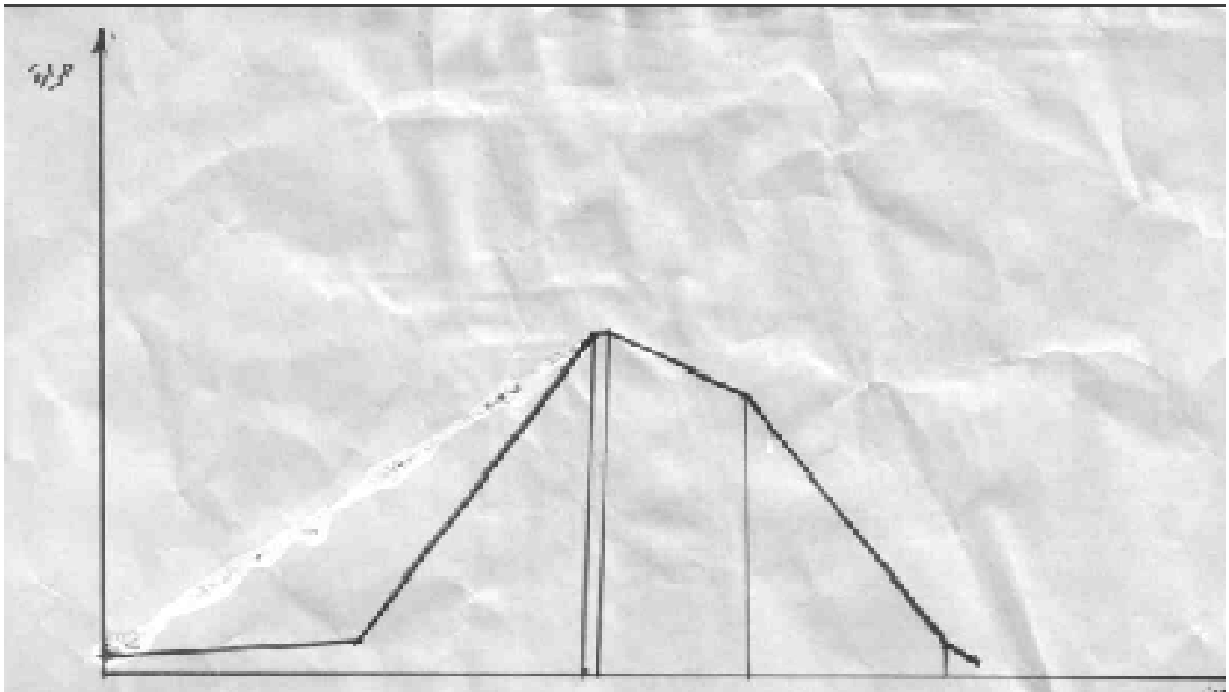
2- من مظاهر تلف الأثار الزجاجية

2-1- ظاهرة التآكل السطحي

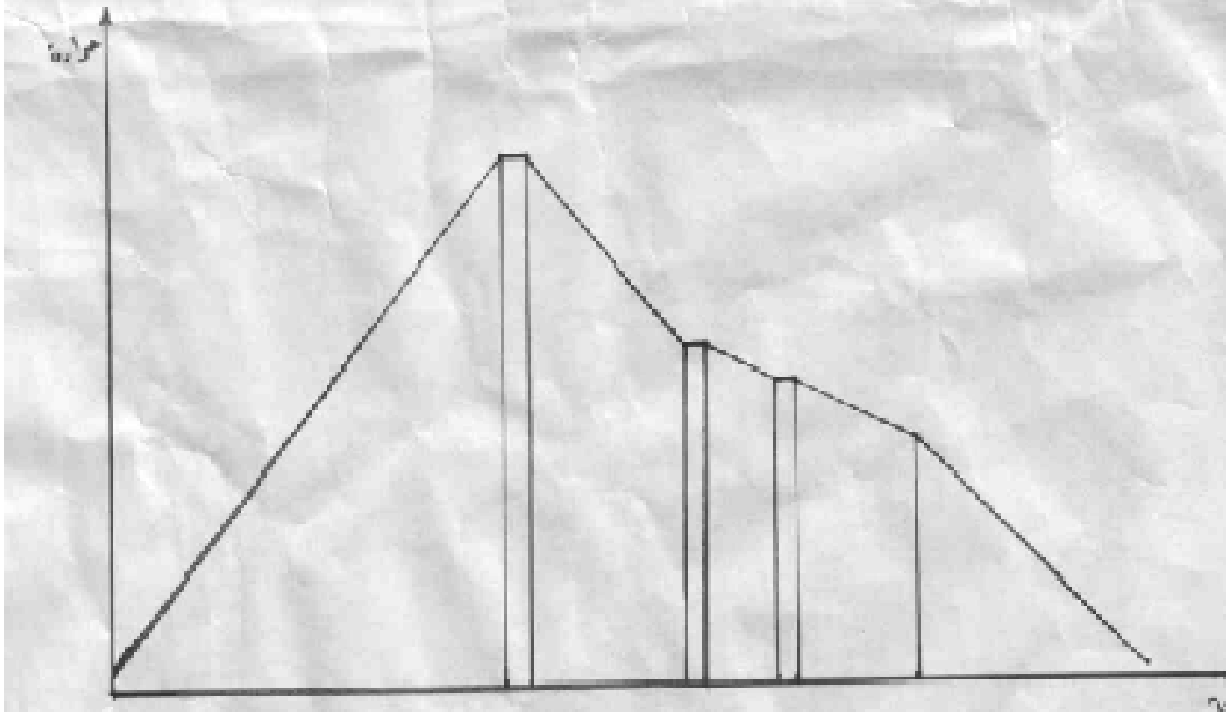
أسبابها	البيانات المستخرج منها الأثر و مؤثراتها عليه		
	الأثار المطمورة تحت سطح التربة	الأثار المغمورة تحت سطح الماء	الآثار المعرضة لتأثير العوامل الجوية الخارجية
1- الخلل في تسبب المكونات الاساسية للزجاج ، لذا يراعي ما يلي :. * لا تقل نسبة السيليكا " المكون الاساسي للزجاج " عن66%. * الا تزيد نسبة القلوي " خافض حرارة الانصهار " عن 24% . * لا تقل نسبة اكسيد الكالسيوم " عامل الثبات " عن "3-4% " 2- التأثر بالمحاليل المائية الموجودة في بيئة الدفن " تربة أرضية _ تحت سطح الماء _ الجو العادي " . و ينتج عنها ما يعرف بميكانيكا تآكل الاسطح الزجاجية . و تعتبر الأثار المطمورة تحت سطح التربة هي أكثر الانواع تعرضاً لظاهرة التآكل السطحي . 3- عدم توازن المكونات الاساسية للزجاج .	تحدث عملية التآكل السطحي لهذه الأثار نتيجة لما يلي :. * التبادل الايوني الناتج من " تحرك أيونات الصوديوم الموجبة من الطبقات السطحية للزجاج ليحل محلها أيونات الهيدروجين الموجبة و الناتجة من تأيين الماء الى ايونات مجموعة الهيدروكسيل السالبة . * زيادة نسبة القلوي و الرطوبة النسبية . * نقص نسبة السيليكا و اكسيد الكالسيوم . * نوعية التربة " رملية _ طينية " " جافة _ رطبة " و التربة الرملية الجافة أكثر تناسباً من الطينة الرطبة في حفظ الأثار الزجاجية . * التركيب الكيميائي للتربة :. فالمحاليل القلوية هي أكثر الانواع تأثيراً على الأسطح الزجاجية فيزداد معدل التلف اذا زادت قيمة الاس الهيدروجيني[1] للمحلول المهاجم عن " 9 " فتتعرض الشيكة السيليكية للتحلل و يتفكك التركيب الكيميائي للزجاج و يتحلل الأثر كلياً و حدد " Pollord " 1996 أن :. - السيليكا المقاومة للمحاليل المتعادلة تكون عند " PH=7 " - تآكل الزجاج في المحاليل القلوية يكون عند " PH >7 " - الزجاج يقاوم الاحماض عند " PH <7 " فيما عدا حمض " HF " لان ايون الفلورين " F " يهاجم تركيب السيليكا مثل مجموعة الهيدروكسيل السالبة " OH " . 1 رمز الاس الهيدروجيني الدال على نسبة القلوية في المحلول.	تتعرض الأثار للتلف هنا بصورة أشد من المطمورة تحت سطح التربة خاصة الأثار المغمورة تحت سطح مياه البحر نظراً لما يلي :. - احتوائها على كلوريدات غنية بالقلويات المهاجمة لتركيب السيليكا . - حركة المياه تحدث تآكل ميكانيكي لأسطح الأثر " نحر " . - تحلل المواد البحرية يكون طبقة صلبة من كربونات الكالسيوم على سطح الزجاج. - فقد نسبة كبيرة من أكسيد الكالسيوم " المادة المثبتة " 41 % من كتلة الزجاج متسبباً في تحلل الزجاج و ذوبانه كلية .	العوامل الجوية من أقل المؤثرات السلبية على أسطح الأثار الزجاجية خاصة رطوبة الجو المرتفعة التي تفقد الزجاج بريقه و نقائه فقط .

2-2- مظاهرالتلف المصاحبة لظاهرة التآكل السطحي .

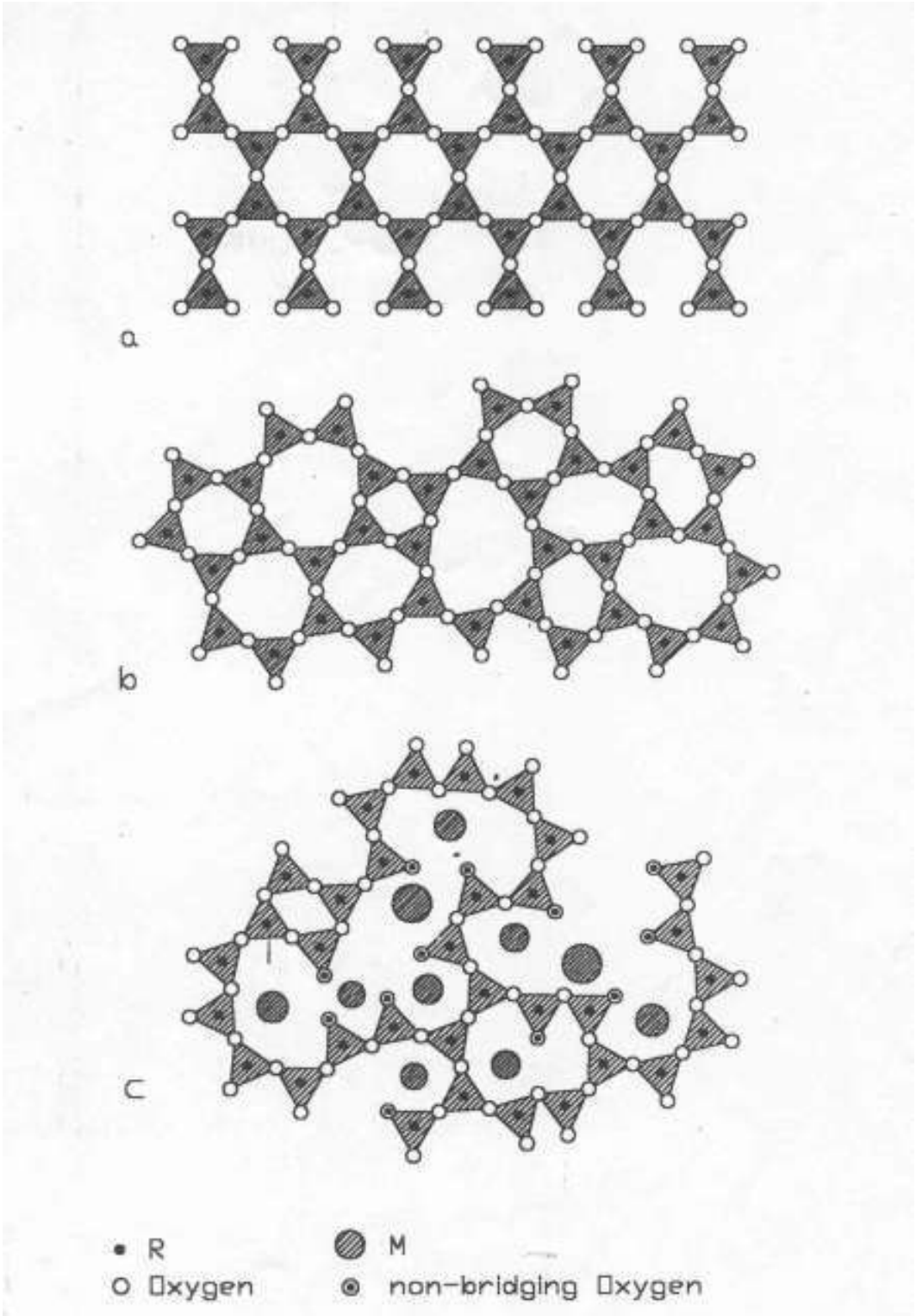
الاعتام و التنفير	الشروخ الدقيقة الناتجة عن الاجهاد	الزجاج الباكي	الطبقات البيضاء	التلف البيولوجي	التحجر	الفقاعات الهوائية	التبلور	التشميس
إن تكون طبقات نواتج التلف ذات اللون الابيض أو الاصفر أو البني المعروفة بالطبقات المتقزحة يكون سبباً لتلاعب الالوان و تكون الحفر على السطح و بمرور الوقت تنمو حالات التلف و تؤدي الى تآكل الطبقات الحاملة لها تماماً	تنتج من الجفاف المفاجئ لطبقة الزجاج الهيدروجيني المتكونة على السطح بعد هجرة أيونات الصوديوم من الزجاج و نتيجة صغر أيونات الهيدروجين عن أيونات القلوي يحدث انكماش للسطح يزداد بجفاف هذه الطبقة نتيجة لفقدها الماء .	ينتج من تكون طبقة كربونات البوتاسيوم على الاسطح الزجاجية و لها القدرة على امتصاص الماء بشراهة من الجو مكونة قطرات على السطح الزجاجي .	تظهرعلى الاسطح الزجاجية في صورة بقع أو خطوط بيضاء تمتد للداخل و تنحر في جسم الآنية الزجاجية	نمو الكائنات على السطح الزجاجي يهاجم بعض العناصر المكونة للتركيب الكيميائي مثل " البوتاسيوم _ الكالسيوم _ المنجنيز _ الحديد _ الفسفور " فتتحرك و تهاجر من الاسطح الزجاجية بالاضافة لتغيير الاس الهيدروجيني و قد ترفعه الى اكثر من " 10 " فيصبح الوسط المحيط بالزجاج شديد القلوية مسببا تكون طبقات جيلاتينية لذجة و حفر و شروخ بيولوجية على الاسطح الزجاجية.	تتشابه مع ظاهرة الطبقات البيضاء المعتمة فتتكون على هيئة نقط متحجرة على السطح الداخلي للآنية	هي غازات و فقاعات هوائية محبوسة بين طبقات الزجاج الرقيقة المتكونة على جسم الآنية الزجاجية و تتهشم بتعرضها لأية طغوط تاركة خلفها حفر و ثقوب بالسطح و يرجع سبب هذه الظاهرة لزيادة نسبة السيليكا في التركيب الكيميائي للزجاج.	تنتج بتعرض الزجاج لمدة طويلة لعوامل التلف من ظروف البيئة المحيطة "كدرجات الحرارة والرطوبة" فتتحد المكونات الاساية للزجاج في صورة آطوار منفصلة و تحول الزجاج من حالة الشفافية الى النصف شفافية ثم الى الاعتام خاصة الزجاج المحتوي على نسبة عالية من القلوي	ان اضافة نسبة من أكسيد المنجنيز الثنائي كعامل مؤكسد للحديد الموجود بالمكونات الاساسية للزجاج على هيئة شوائب عالقة ينتج عنها تعادل لون أكسيد الحديديك مع لون أكسيد المنجنيز معطياً زجاج عديم اللون الذي عند تعرضه لأشعة الشمس يختزل اكسيد الحديديك الى اكسيد الحديدوز و يتأكسد اكسيد المنجنيز الثنائي الى اكسيد المنجنيز الثلاثي فيتكون الزجاج باللون البنفسجي على هيئة بقع على السطح .



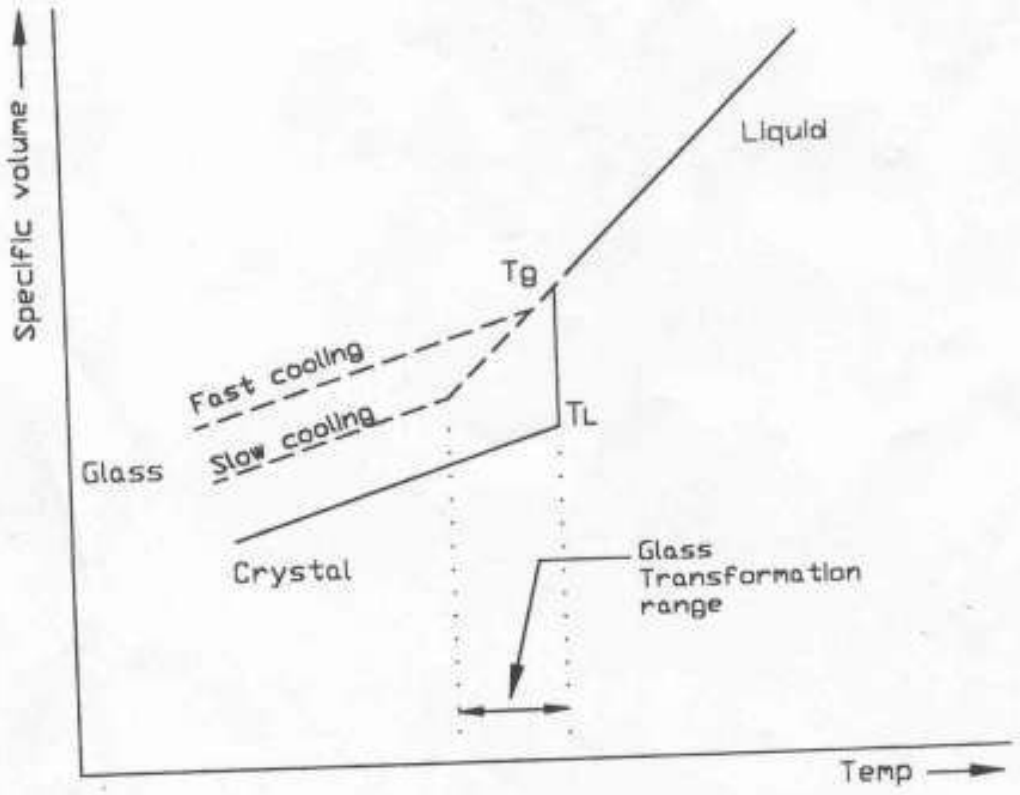
المنحنى الحراري الخاص بعملية
تثبيت الجزء الجديلي والزهرقية



المنحنى الحراري الخاص بعملية
ما تتاح الجزء الذ جاجي الجديلي



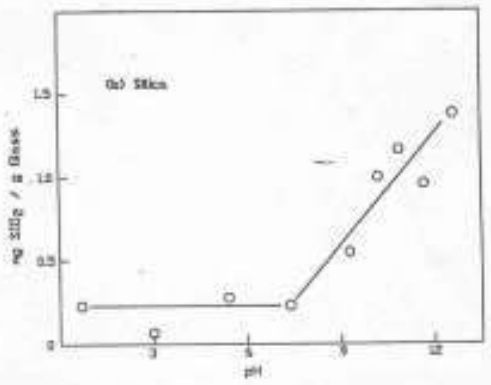
شكل رقم (١) يوضح التركيب الشبكى للزجاج وفقا لنظرية Zachariasen (1932)
عن : Pollard (1996)



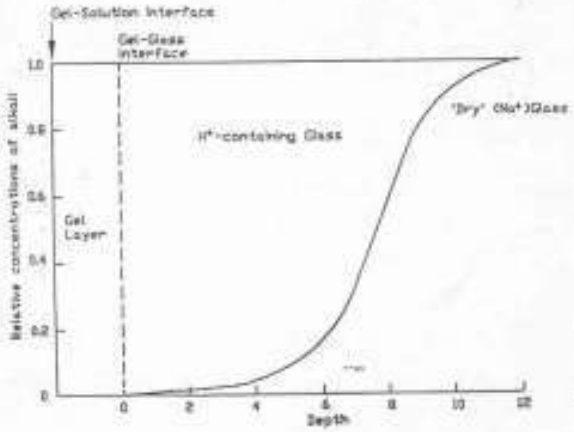
شكل رقم (٢) يوضح معدل التبريد للتحول من الحالة السائلة الى الحالة المتبلورة
او الحالة المتزججة
عن: Pollard (1996)

جدول رقم "٤" يوضح العلاقة بين اللون ونسبة الإجهاد .

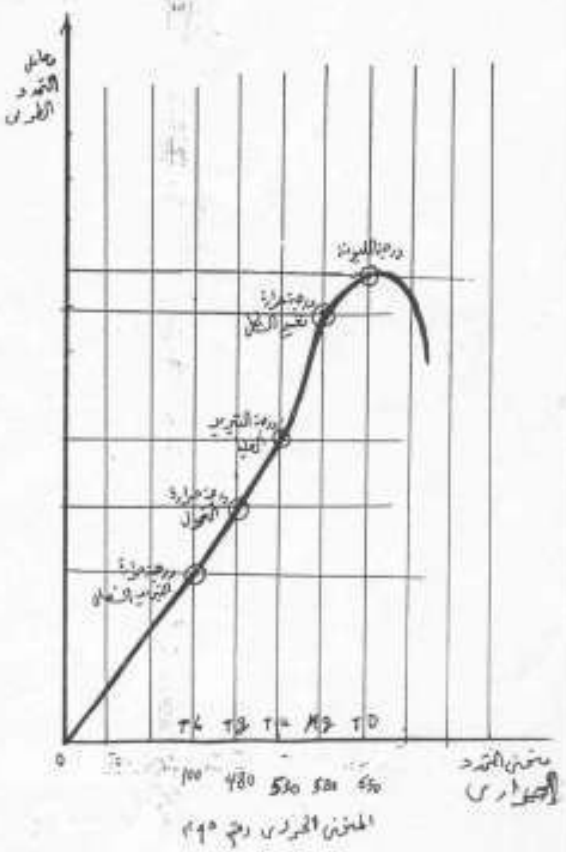
نسبة الإجهاد بالمللى ميكرون	اللون الناتج فى جهاز البولاريسكوب
٣٧٥	أصفر
٢٧٥	أصفر مخضر
٢٠٠	أخضر ← تغلغل بالشد للخارج
١٤٥	أزرق مخضر
١١٥	أزرق
صفر	بنفسجى
٢٥	أحمر
١٣٠	برتقالى
٢٠٠	أصفر لامع ← تضاغط بالشد للداخل
٢٨٠	أصفر
٣٠٠	أبيض



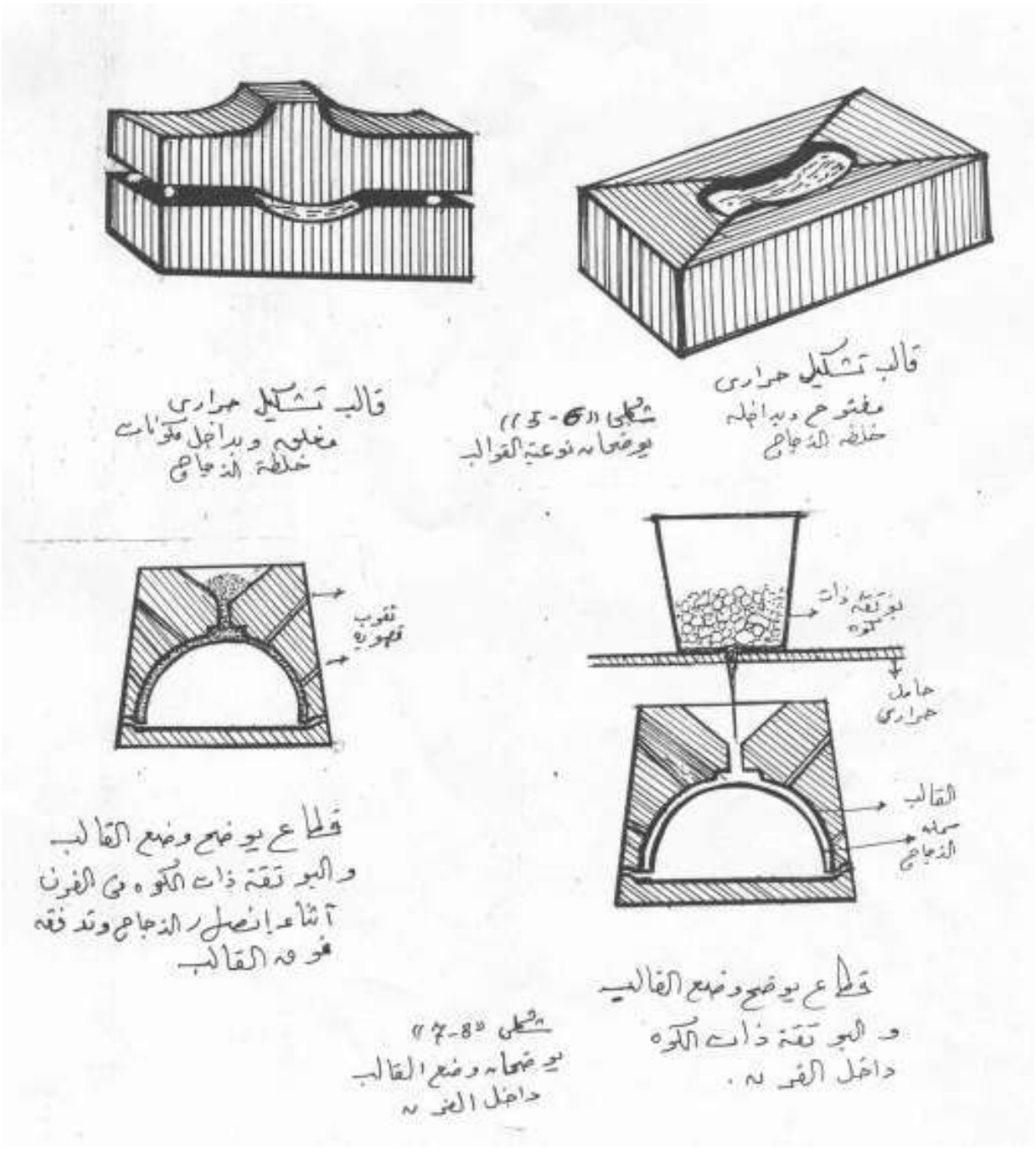
شكل رقم (٣) يوضح كمية السيليكا النازحة خارج جسم الزجاج نتيجة ارتفاع نسبة القلوية في المحلول المهاجم
عن: Pollard (1996)

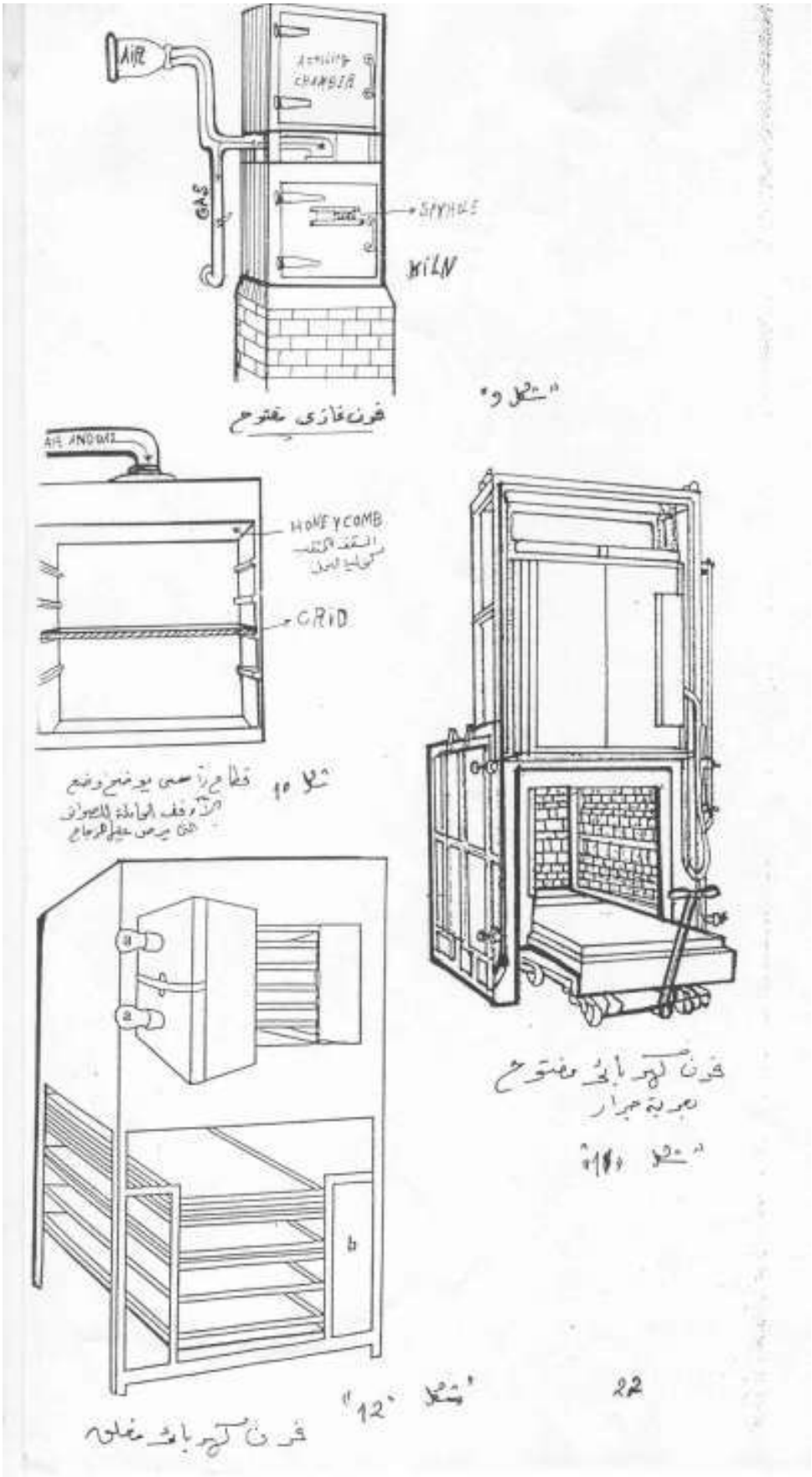


شكل رقم (١) يوضح فقدان القلوى بالزجاج تدرجا من السطح الخارجى الى اللب الداخلى
عن: Pollard (1996)



20


قالب تشكيل حراري
مفتوح وبداخله
خلطة الزجاج
قالب تشكيل حراري
مغلق وبداخل مكوناته
خلطة الزجاج
شكل (5-7)
يوضحان نوعية القوالب
ثقوب
تهوية
قطاع يوضح وضع القالب
والبوتقة ذات الكوه في الفرن
أثناء انصهار الزجاج وتدفقه
فوق القالب
بوتقة ذات
كوه
حامل
حراري
القالب
سمك
الزجاج
قطاع يوضح وضع القالب
والبوتقة ذات الكوه
داخل الفرن.
شكل (5-8)
يوضحان وضع القالب
داخل الفرن



شكل 9
فرن غازي مفتوح

شكل 10
قطاع رأسي يوضح وضع
الشقف الحامل للصواني
التي يرص عليها الدجاج

شكل 11
فرن كهربائي مفتوح
بعربة جرار

شكل 12
فرن كهربائي مغلق