جمهورية العراق

وزارة التربية

المديرية العامة للتعليم المهني

العلوم الصناعية

الخزف والزجاج

الصناعي

الصف الثالث

تأليف

د. شهاب احمد زيدان الجبوري

د. انغام سعدون العزاوي

زهراء صلاح احمد

دريد فوزي مهدي

انغام خاجيك تكلان

رشا عدنان عبد الهادي

سميرة مجيد عيدان

الطبعة الثالثة

1447 هـ – 2025 م

مقدمة:

نضع بين يديك عزيزي الطالب الجزء الثالث من منهاج الخزف والزجاج، وهذا الجزء متخصص في صناعة الزجاج التي تعدّ اليوم جزءاً مهماً من حياتنا اليومية، فلا يوجد اي شيء من حولنا لا يحتوي على الزجاج.

لقد تسارعت في الآونة الاخيرة وتيرة الصناعات الزجاجية لتشمل تقنيات متقدمة ولم تعد مقتصرة على الاستعمالات التقليدية مثل زجاج الشبابيك والاواني والقناني....الخ فقد ظهر في السنوات القليلة الماضية الزجاج الذكي المتضمن تطبيقات تقنية متقدمة في انظمة العزل الحراري وشاشات العرض والهواتف النقالة.

بالرغم من كل التطورات الحاصلة في تقنيات صناعة الزجاج فقد ظلت الاساليب التقليدية مثل التشكيل بالنفخ والزخرفة والنقش والرسم على الزجاج من الحرف التي يتميز بها الزجاجون عن الحرف الاخرى، فهي مزيج من التقنية والفن والذوق. وهناك نتاجات زجاجية تدر على صانعيها اموالاً طائلةً تعتمد على نوع الزجاج واللون والشكل، فاصبح العمل في الزجاج يستهوي الهواة والحرفيين.

مما تقدم ولأهمية صناعة الزجاج تم بعون الله تأليف هذا الكتاب الذي يشتمل على سبعة فصول تتضمن شرحاً وافياً عن المواد الاولية الداخلة في انواع الزجاج وتأثيرها على خصائص الزجاج، فضلاً عن عمليات تشكيل الزجاج والمكائن والمعدات الداخلة في صناعة الزجاج ، كذلك تضمن الكتاب فصولاً في انواع الزجاج وخصائص كل نوع وتطبيقاته.

ولا يسعنا اخيراً الا ان نتقدم بخالص الشكر والتقدير الى السادة المقومين العلميين لملاحظاتهم القيمة التي ساعدت على ترصين الجوانب العلمية والفنية في الكتاب.

ومن الله التوفيق

المؤلفون

الفصل الاول

نبذة تاريخية عن صناعة الزجاج

اهداف الفصل الاول:-

ينبغي للطالب ان يكون قادراً على أن :

1- **يعرف نبذة تاريخية عن صناعة الزجاج**

2- **يتعرف على صناعة الزجاج في العراق ومتى تأسست**

3- **يتعرف على اختصاص الشركة العامة لصناعة الزجاج وما منتجاتها.**

مفردات الفصل:-

1-1 المقدمة

2-1 الصناعات الزجاجية في العراق

3-1 اختصاص الشركة

أسئلة الفصل

نبذة تأريخيه عن صناعة الزجاج:

1- 1 تمهيد :-

يعود تاريخ صناعة الزجاج إلى حوالي عام 2000 قبل الميلاد. ومنذ ذلك الحين، دخل الزجاج في أغراض عديدة من حياة الإنسان اليومية. استخدم الزجاج في صناعة الآنية المفيدة والمواد الزخرفية ومواد الزينة بما في ذلك المجوهرات. كما كان له تطبيقاته الصناعية والمعمارية، وكانت أقدم المواد الزجاجية عبارة عن خرزات حيث لم يتم التوصل إلى الآنية المجوفة حتى عام 1500 قبل الميلاد .

يعتبر الصناع الآسيويون هم أول من أرسى صناعة الزجاج ، ومنهم انتقلت الصناعة إلى مصر حيث ترجع أول آنية زجاجية إلى حكم تحتمس الثالث (1504-1450 قبل الميلاد) وقد ظلت صناعة الزجاج منتعشة في مصر حتى حوالي عام 1200 قبل الميلاد ثم توقفت فعليا لعدة قرون من الزمان. وفي القرن التاسع قبل الميلاد، ظهرت كل من سوريا والعراق كمراكز لصناعة الزجاج، وامتدت الصناعة عبر منطقة البحر المتوسط. وفي العصر الإغريقي، قامت مصر بجهد كبير في تزويد القصور الملكية بالزجاج الفخم حيث كان يصنع في الإسكندرية.

اما في القرن الأول قبل الميلاد، فتم التوصل إلى عملية نفخ الزجاج في سواحل فينيقيا. وفي العصر الروماني، كانت صناعة الزجاج منتشرة في مناطق متعددة من الإمبراطورية الرومانية . وقبل اختراع أنبوبة نفخ الزجاج، كانت هناك عدة طرق لتشكيل وتزيين الأشياء المصنوعة من الزجاج الملون سواء الزجاج نصف الشفاف أو المعتم، حيث تم تقطيع وتشكيل بعض الأشياء من كتل الزجاج الصلبة. ومن صانعي الآنية والمواد المعدنية، اقتبس صناع الزجاج عمليات السبك فقد كان يتم صب الزجاج المصهور في قوالب لإنتاج الحشو والتماثيل الصغيرة والآنية المفتوحة مثل الأكواب والأوعية. وكان يتم تسخين قضبان الزجاج المشكلة مسبقا وصهرها معا في قالب للحصول على "شريط "زجاجي. وتم عمل نماذج معقدة جدا باستعمال تقنية الفسيفساء اذ يتم صهر العناصر في قضيب ثم تؤخذ هذه العناصر لتعطي تصميما على شكل متقاطع. كما كان يتم ترتيب شرائح من هذه القضبان في قالب لتشكيل وعاء أو لوحة ثم تسخن حتى تنصهر.

أما أغلب الصناعات الزجاجية قبل العصر الروماني فقد كان يتم تشكيلها باستعمال تقنية الجزء المركزي. حيث كان يتم تثبيت خليط من الطين على قضيب معدني، ثم يعطى الشكل الداخلي للوعاء المطلوب، ثم يتم غمسه في بوتقة من الزجاج المصهور أو تلف بخيوط من الزجاج، ثم يعاد تسخينه باستمرار وبعدها يصقل على حجر مسطح. وعلى هذا الشكل تتدلى خيوط زجاجية مختلفة الألوان مكونة

أنماطا تشبه الأجنحة على درجة عالية من الروعة كما هو مشاهد في الزجاج المصري الذي خلفته الأسرتان الثامنة عشر والتاسعة عشر. كما تم إضافة المقابض والأقدام والرقبة وتعريض هذا الشكل للتبريد. وبعدها يسحب القضيب ويستخرج الجزء الذي يشغل الجزء المركزي. وبهذه الطريقة كانت تصنع حاويات مستحضرات التجميل والآنية الصغيرة الحجم. ومنذ بداية القرن السادس قبل الميلاد، أخذت هذه الأشياء تصميمات الآنية الفخارية نفسها في العصر اليوناني.

أخذ صناع الزجاج المسلمون مع بداية القرن الثاني الهجري / الثامن الميلادي الأساليب الفارسية القديمة في صناعة الزجاج من حيث تقطيعه وتشكيله، اذ أنتج المسلمون آنية ذات بروز عالية وكان الكثير من هذه البروز تصور موضوعات تتعلق بالحيوانات. كما قام المسلمون أيضا بإنتاج زجاج عديم اللون على درجة عالية من الجودة وعليه تصميمات دقيقة كالعجلات. وقد زادت إمكانيات الزخرفة مع التوصل إلى ألوان الطلاء الزخرفية والطلاء بالذهب وقد كانت مصانع الزجاج في حلب ودمشق مشهورة بهذه الإمكانيات الزخرفية. وفي مصر اخترعت أنسجة الصقل التي أدت إلى ظهور تأثيرات معدنية براقة بألوان كالبني والأصفر والأحمر، واستعملت في كل من صناعة الفخار والزجاج. وقد دهنت مصابيح المساجد والآنية والأكواب والزجاجيات بنقوش هندسية إسلامية متناغمة، مما كان لها بالغ الأثر على صناعة الزجاج الغربية فيما بعد وخاصة في فيينا وإسبانيا.

تعد صناعة الزجاج من الصناعات الكيمياوية المهمة التي سجل فيها علماء المسلمين نبوغا وبراعة. حيث أصبحت القطع المنتجة تستعمل كأحجار كريمة، كما أنهم أدخلوا عليها تحسينات كثيرة بوساطة التزيينات الفسيفسائية. وكانوا يصنعون الألواح الزجاجية الملونة وغير الملونة، وكذلك الصحون والكؤوس والقناني والأباريق والمصابيح وزجاجات الزينة لحفظ العطور ، وغير ذلك، وتفننوا في زخرفة هذه الأدوات زخرفة رائعة، وبألوان جميلة، وكتبت عليها أبيات من الشعر الرقيق .

ابتكر المسلمون التزجيج، وما زالت روائع من أعمالهم في التزجيج باقية في واجهات المساجد والجوامع، وكذلك في الأبنية الأثرية إضافة إلى ما هو محفوظ في المتاحف العالمية. ولقد استعملت الأصباغ المعدنية في هذه الصناعة الفنية، فلم تتأثر بالتقلبات الجوية، ولم تؤثر فيها حرارة الشمس المحرقة طوال مئات السنين الماضية .

عرف علماء المسلمين البلور وهو الزجاج الممتاز، كما في الشكل (1-1) (الكريستال بحسب التعريف الكيماوي الحديث) الذي يحتوي على نسب مختلفة من أكاسيد الرصاص، وصنعوه بإتقان، وعرفوا منه نوعا طبيعيا. وما زال يستعمل - كما استعمله المسلمون من قبل - في صناعة الأقداح

والأواني والثريات، وكذلك في صناعة الخواتم وأدوات الزينة وكثير من الأدوات المنزلية. وصنعوا منه نظارات العيون، وكانوا يسمونها (منظرة). كما استعملوا الأدوات الزجاجية في مختبراتهم.

شكل 1 – 1

المصريون هم اول من عرفوا صناعة الزجاج فقد وجدت في مقابر قدماء المصريين اقدم آثار للزجاج حيث كانوا يصنعون قبل الميلاد بثلاثة آلاف سنة بعض انواع الخرز والتعاويذ الزجاجية ومازالت هذه الآثار بجميع انحاء العالم.

وجد بمصر عمود من الزجاج عليه نقوش ترجع الى عهد الملك امنحتب الثالث ومازال هذا العامود محفوظ بمتحف برلين ويعد اقدم اثر للزجاج عَرَفَ المؤرخون صناعته وحوالى عام 1500 قبل الميلاد استطاع المصريون القدماء ان يبتكرون طريقة عملية لصناعة الاواني الزجاجية،

كان المصريون يصنعون من الرمل والجير كتلا على هيئه الاواني المطلوبة ويجعلون في نهايتها قضبان من المعدن يمسكون بها ثم يغمسون هذه الكتل في الزجاج المصهور حتى يغلف غطاء كاف من هذا الزجاج وبعد ذلك يتركونها تبرد ثم يفتتون الكتل في داخل الاواني واحيانا كانوا يستعملون النقوش حتى تبدو الاواني من الخارج وكأنها مصنوعه من الحجر.

ابدع المصريون القدماء في صناعة الاواني الزجاجية بهذه الطريقة الدقيقة واستعملوها في القصور مثل الاواني والاطباق والكؤوس وفي متحف متروبوليتان للفن بنيويورك كأس خاصه بالملك تحتمس الثالث ويرجع تاريخها الى ما قبل الميلاد بألف وأربعمائة وخمسين عام وهي من الاثار الرائعة التي تدل على براعه القدماء المصريين وهي مصنوعه على هيئه زهرة اللوتس وهي من الزجاج الازرق الفيروزي وتحليها اشرطه من الذهب الخالص وقد بلغت دقة هذه الصناعة في ذلك العصر ان جميع الاثار المصرية القديمة من المصنوعات الزجاجية كانت صغيره الحجم نسبيا حتى ان بعض الزجاجات التي وجدت بمقابرهم لم يتعد طولها 15 cm واذا كانت عمليه الطلاء بالمينا من اقدم العمليات المعروفة في تزيين الاواني بوجه عام عندما استعملها المصريون اكثر من ألف عام في تزيين اوانيهم الخزفية فان

اليهم ايضا يعود الفضل في تزين الاواني باستعمال خيوط رقيقة من الزجاج الملون قبل الميلاد بما يقارب الف وخمسمائة سنة كما يعود اليهم فضل عملية الحفر على الزجاج حيث وجدت كأس زجاجية محفور عليها صورة تحتمس الثالث فرعون مصر.

لقد دأب المصريون على اعتبار الزجاج بديلا للمجوهرات والاحجار الكريمة واحيانا كانوا يصنعون حليهم من الزجاج المعتم ذي اللون الواحد لتكون اقرب شبها بالأحجار النفيسة النادرة اما الخرز فكانوا يعدونها من المجوهرات الثمينة وقد صنعوها ايضا من الزجاج بصبها في قوالب ومن مصر القديمة انتشرت صناعة الزجاج سريعا الى بقية البلاد المطلة على البحر الابيض المتوسط اذ لم يذكر التاريخ شيئا عن صناعة الزجاج في تلك البلاد.

أما الاواني فكانت تصنع على شكل حشو من الطين الرملي ملفوف داخل قطعة من القماش او الجلد مربوط بخيط يشد الي ساق من النحاس أو الخشب. ثم تغمس اللفة في الزجاج المنصهر و تدار بسرعة عدت مرات حتى يوزع الزجاج على سطحها توزيعا مستويا. و كانت الاواني الناتجة عن هذه العملية غير تامة الانتظام في سمكها غالبا.

نتيجة لهذا التطور لم يعد اقتناء الاشياء المصنوعة من الزجاج وقفا على الاثرياء بل اصبح ذلك في متناول كل الطبقات. وقد وجدت اوان زجاجية شبيهة بالأواني المصرية في المقابر اليونانية والاتروسكية بإيطاليا من القرن السادس حتى القرن الرابع قبل الميلاد , كما ظهرت اوان من العصر الهيلينستي في قبرص و اماكن اخرى غيرها. لذلك يعرف الزجاج على انه مادة عديمة اللون تصنع أساسا من السليكا المصهور في درجات حرارة عالية مع حامض البوريك أو الفوسفات.

المكونات الأساسية للزجاج هي السليكا المشتقة من الرمل والصوان والكوارتز. وتصهر السليكا في درجات حرارة عالية جدا لإنتاج زجاج السليكا المصهور. ويتم إنتاج أنواع مختلفة من الزجاج باتحاد السليكا مع مواد خام أخرى بنسب مختلفة. وهناك مركبات قلوية مثل كربونات الصوديوم وكربونات البوتاسيوم تقلل من درجة حرارة الصهر ولزوجة السليكا. وينصهر الزجاج عادة عند درجة حرارة عالية ويتمدد بشكل قليل جداً مع تغير درجات الحرارة، ومن ثم يكون مناسبا لانتاج الأدوات **التي** تستعمل في المعامل والأشياء التي تكون عرضة للصدمات الحرارية مثل مرايا التليسكوب. ويعد الزجاج موصلا رديئا لكل من الحرارة والكهرباء ومن ثم فإنه مفيد في العوازل الكهربائية والحرارية.

شكل 1 – 2 مشكاة من العصر المملوكي في مصر 1360 م

2-1 الصناعات الزجاجية في العراق:

ظل العراق حتى نهاية الستينات يستورد معظم احتياجاته من المنتجات الزجاجية حيث دعت الحاجة الى تأسيس هذه الصناعة ودعمها وطنيا مع مراعاة الجوانب الاقتصادية لتحقيق مبدا الاكتفاء الذاتي للبلد وخصوصا مع توفر معظم المواد الاولية في صحراء الانبار التي تشكل نسبة 80% من المواد الداخلة في هذه الصناعة.

شكل 1 – 3 معمل الزجاج في الرمادي

تأسست الشركة العامة لصناعة الزجاج والسيراميك عام 1970م في محافظة الانبار – مدينة الرمادي وهي إحدى تشكيلات وزارة الصناعة والمعادن مبتدئا بتأسيس معمل الزجاج بالعام نفسه والموقع الحالي نفسه بجانب نهر الفرات مستفيدا من قرب الموقع من خامات المواد الاولية ولكون مدينة الرمادي تحتل موقع وسط بين الخامات المتوفرة والسوق الرئيسي (تبعد عن بغداد 110 kg)، كما في الشكل (1-3).

اختص في بداية تأسيسه بإنتاج زجاج الابنية والشبابيك بطاقات لا تتجاوز 50 طناً / يومياً بمكائن وتكنولوجيا روسية قديمة بعدها تم اقامة معمل لإنتاج زجاج القناني والجرار (القناني ذات الفوهة الواسعة) المستعملة في تعليب العصائر ومعجون الطماطم وغيرها بمناشئ اوربية ومن قبل اشهر

الشركات في العالم مثل شركة سورج الالمانية وشركة امهارت السويسرية وشركة ماول بروس الامريكية وغيرها من الشركات الايطالية واليابانية مثل تويو كلاس.

ثم تطور الحال في منتصف الثمانينات حيث تم تطوير المعمل بأنشاء افران جديدة لإنتاج القناني والاواني المنزلية وزجاج سليكات الصوديوم تلبية للحاجة المحلية في توفير زجاج العبوات لتعبئة العصائر والمعجون والمشروبات الغازية للمعامل الحكومية والقطاع المختلط والمعامل الأهلية.

3-1 اختصاص شركة الصناعات الزجاجية

1- أنتاج وتسويق الزجاج بمختلف الأنواع وحسب ما يلي:-

a- زجاج الألواح الخاص بالشبابيك والأبنية .

b- زجاج الأواني المنزلية .

c- زجاج القناني والجرار.

d- مادة سيلكات الصوديوم القاعدية (الصلبة والسائلة).

2- إنتاج وتسويق السيراميك:-

a- كاشي الأرضيات .

b- كاشي الجدران .

c- الأدوات الصحية السيراميكية المستخدمة في الحمامات.

أسئلة الفصل الاول

س1 / اختر العبارة الصحيحة لكل مما يأتي :-

1- يعد صنّاع الزجاج ــــــــــــ هم أول من أرسى صناعة الزجاج .

a- المصريون b - الرومانيون c – الاسيويون d- الفينيقيون

2- تعد عملية ــــــــــــ من أقدم العمليات المعروفة في تزيين الاواني بوجه عام .

a- الرش b - الطلاء بالمينا c – التغطيس d- النقش بالحوامض

3- تعمل مركبات ــــــــــــ على تقليل درجة حرارة الانصهار ولزوجة السليكا .

a- الزركونيا b - الالومينا c – كاربونات الكالسيوم d- كاربونات الصوديوم

4- يعد الزجاج من المواد ــــــــــــ .

a- الموصلة كهربائياً b- العازلة كهربائياً c – الموصلة للحرارة d- الشبه موصلة كهربائياً

س2/ ما تقنية الجزء المركزي التي كان يستعملها الزجاجون قبل العصر الروماني لتشكيل الزجاج ؟

س3/ ما دور المسلمون في صناعة زجاج الكرستال ؟

س4/ لماذا أنشأت الشركة العامة لصناعة الزجاج والسيراميك في محافظة الانبار ؟ وما أبرز المنتجات التي تصنعها.

الفصل الثاني

الزجاج

(تعريفه - مكوناته - انواعه)

أهداف الفصل الثاني:

من المتوقع أن يتعرف الطالب على :

- تعريف الزجاج
- معرفة تركيب الزجاج
- التعرف على مكونات الزجاج الاساسية
- معرفة أهمية كل مادة في خلطة الزجاج
- التعرف على صفات كل نوع من انواع الزجاج

محتويات الفصل الثاني

(2-1) المقدمة.

(2-2) تعريف الزجاج.

(2-3) تركيب الزجاج.

(2-4) المواد الاساسية للزجاج (المواد الاولية والمواد الثانوية)

(2-5) انواع الزجاج

1-2 تمهيد :

الزجاج من المواد التي استعملت قديما في العمارة وفي صنع الشبابيك عندما شعر الإنسان بالحاجة لإدخال ضوء الشمس مع منع الضوضاء والرياح الباردة أو الرطبة أو المحملة بالغبار أو الأمطار من الدخول حيث كان يقتصر استعمالها على هذا حتى القرن التاسع عشر عندما ظهرت مواد بناء جديدة بخواص جديدة لم يعتدها المعماري من قبل فاضطر إلى التعامل معها واستعمالها في معالجاته المعمارية وفي إيجاد لغة وتعبيرات معمارية مستحدثة تتناسب مع هذا التطور. فكان البناء الأول الذي ظهر بعد هذا التطور هو القصر البلوري في لندن 1851م اذ استعمل جورج باكستون الحديد كمادة إنشائية لتغطية المسطحات الزجاجية الكبيرة في الواجهات ليكون أكبر المعارض المغطاة آنذاك.

أما في اليمن فاستعمل الزجاج الملون لمليء الزخارف النباتية في القمريات وأول مبنى استخدم فيه مسطحات كبيرة من الزجاج كان في السبعينات وهو مبنى الخطوط الجوية اليمنية. أما في السنوات الأخيرة استعمل بشكل أكبر مثلا في معارض فورد وبورش وبعض المراكز التجارية في العاصمة، وبفضل التكنولوجيا الحديثة استطاعوا صنع مساحات كبيرة من الزجاج بألوان عديدة وبأحجام ثلاثية الأبعاد ، وأصبح له وظيفة أخرى ديكوريه كالمفروشات وعلى الجدران كلوحات فنية وغيرها.

في الآونة الأخيرة أصبح حجم استعمال الزجاج كبيراً في مجالات متعددة، ولأغراض مختلفة، ويرجع التنوع الكبير في استعمالات الزجاج إلى اكتسابه الصلابة في المقام الأول مما جعله يتبوأ مكانة جديدة لم تكن مألوفة عنه من قبل, فأصبحنا نرى الزجاج في كل مكان بل إننا نرى الآن مباني تكاد تكون زجاجية بالكامل إذا استثنينا الهياكل الخرسانية.

تعتبر النوافذ أحدى أعقد عناصر البناء التي فيها الكثير من الصعاب كتحقيق التوازن بين درجة الشفافية التي ينفذ من خلالها الضوء وحرارة الشمس والتهوية وبين جمالية المبنى التي تتيح رؤية المناظر الخارجية، محاولة الموازنة بينهما تهدف الى الراحة و الحفاظ على الطاقة. فضلاً عن انه يجب أن تتوافر في الزجاج الصلابة والقدرة على العزل ومقاومة الضغط والانحناء والقص الشديد وتحمل درجات الحرارة العالية وانعكاس الضوء فضلاً عن سهولة التركيب المطلوبة في واجهات المباني ذات المساحات الزجاجية الكبيرة التي تزيد من استعمال الطاقة الكهربائية. تختلف الموازنة حسب المكان والزمان لذا هناك ما يسمى بالنوافذ الذكية التي تستطيع أن تغير من خصائص انتقال الضوء والحرارة وهذه النوافذ تستند على التغطية الكهروكيماوية اذ يعتقد العلماء أن هذا النوع من التزجيج سيكون أكثر حداثة وكفاءة إذ أنه مكون من عدة طبقات رقيقة مطلية عندما تعرض لفولتية منخفضة يحصل تفاعل

كهروكيمياوي يجعل الطلاء يبدو بدل الشفاف ملوناً و عندما لا يتعرض لأشعة الشمس يرجع واضحاً وشفافاً. فالعمارة المعاصرة لا يمكن تخيلها من دون مساحات كبيرة من الزجاج في الواجهات.

2-2 تعريف الزجاج :

مادة عديمة اللون تصنع أساسا من السليكا المصهور في درجات حرارة عالية مع حامض البوريك أو الفوسفات. والزجاج يوجد في الطبيعة كما يوجد أيضا في المواد البركانية التي تسمى الزجاج البركاني أو المواد التي تنشأ من النيازك. وليس الزجاج صلبا ولا سائلا وإنما يكون في حالة خاصة تظهر فيها جزيئاته بشكل عشوائي، بحيث يوجد تماسك كاف لإحداث اتحاد كيميائي بينها. وعندما يتم تبريد الزجاج يصل إلى حالته الصلبة ولكن بدون تبلور، ومع تعريضه للحرارة يتحول الزجاج إلى سائل. وعادة ما يكون الزجاج شفافا ولكنه قد يكون غير شفاف أو نصف شفاف أيضا، ويختلف لونه تبعا لمكوناته .

يكون الزجاج المصهور كاللدائن بحيث يمكن تشكيله باستعمال تقنيات عديدة. ومن الممكن تقطيع الزجاج عندما يكون باردا. وفي درجات الحرارة المنخفضة يكون الزجاج هشا وينكسر. ولمثل هذه المواد الطبيعية كالزجاج البركاني مكونات وخصائص تشبه الزجاج الصناعي .

هنالك تعريفان للزجاج من وجهتي النظر الفيزيائية والكيمياوية, من وجه النظر الفيزيائية يعرف الزجاج بأنه:

((سائل متصلب نتج تصلبه بسبب تبريد فجائي, ليس لديه درجة انصهار ثابتة ويمتلك لزوجة عالية تمنع تكونه على شكل بلورات)).

اما من وجهه النظر الكيمياوية فأنه:

((مادة متكونة من اتحاد الاكاسيد اللاعضوية الغير الطيارة التي يحصل عليها من تحطم وإعادة اندماج المواد القلوية والقلويات الارضية والرمل ومواد اخرى)).

وحسب تعريف الجمعية الامريكية لفحص المواد **ASTM** :-

((مادة غير عضوية وغير فلزية نتجت عن صهر المواد وبردت الى درجة لا يحدث معها التبلور وهو بصفة خاصة مادة صلبة وسهلة الكسر وسهلة التشكيل وقد تكون ملونة او غير ملونة او شفافة)).

ومن وجهة النظر الهندسية :-

((هي المادة التي ليس لها طور بلوري وليس لها نقطة انصهار ثابتة)).

المكونات الأساسية للزجاج هي السيلكا المشتقة من الرمل والصوان والكوارتز. وتصهر السيلكا في درجات حرارة عالية جدا لإنتاج زجاج السيلكا المصهور. ويتم إنتاج أنواع مختلفة من الزجاج باتحاد

السيلكا مع مواد خام أخرى بنسب مختلفة. وهناك مركبات قلوية مثل كربونات الصوديوم وكربونات البوتاسيوم تقلل من درجة حرارة الصهر ولزوجة السيلكا. وينصهر الزجاج عادة عند درجة حرارة عالية ولا يتمدد أو ينكمش بدرجة كبيرة مع تغير درجات الحرارة، ومن ثم يكون مناسبا لإنتاج الأدوات التي تستعمل في المعامل والأشياء التي تكون عرضة للصدمات الحرارية مثل مرايا التلسكوب. ويعد الزجاج موصلا رديئا لكل من الحرارة والكهرباء ومن ثم فإنه مفيد للعوازل الكهربية والحرارية .

ان المكونات الاساسية للزجاج وكما كانت عليه قبل الفي عام هي كما يأتي:

a- السيلكا (SiO_2)

b- الصودا (Na_2O)

c- الجير (CaO)

ويكون مجموع النسب لهذه المواد في معظم انواع الزجاج حوالي 90% واما العشرة بالمائة المتبقية فتتوزع على الاكاسيد وحسب انواع الزجاج المختلفة :

1- اوكسيد البورون B_2O_3

2- اوكسيد الالمنيوم Al_2O_3

3- اوكسيد الحديد Fe_2O_3

4- اوكسيد الزرنيخ As_2O_3

5- اوكسيد المغنيسيوم MgO

6- اوكسيد البوتاسيوم K_2O

7- اوكسيد الرصاص PbO

8- اوكسيد الفسفور P_2O_5

9- اوكسيد الكبريت SO_3

ان الزجاج المكتشف مع الحضارات القديمة لا يختلف كثيرا عن الزجاج الحديث عن الاول في المكونات الاساسية, وذلك يتضح من مقارنة التركيب الكيمياوي لزجاج فرعوني قديم مع بعض انواع الزجاج الحديث ويتضح ذلك من الجدول (1-1).

يطلق الزجاج على المواد الشفافة التي تشبه بنيتها بنية السوائل وصلابتها في الدرجة العادية من الحرارة تعادل درجة صلابة الأجسام الصلبة. لا يحتوي الزجاج في حالته الصلبة أو السائلة على بلورات ولا يمكن تحديد درجة انصهاره لأنه يتحول من الحالة الصلبة إلى السائلة مارا بمرحلة الليونة التي تمتاز بدرجة لزوجة عالية.

جدول 1-1 يوضح مقارنة التركيب الكيمياوي لزجاج فرعوني قديم مع بعض انواع الزجاج الحديث

نوع الزجاج	المكونات ونسبها المئوية							
	SiO_2	Na_2O	CaO	MgO	Al_2O_3	K_2O	SO_3	B_2O_3
زجاج البايركس	80.9	4.4	-	-	1.8	-	-	12.6
زجاج المصابيح الكهربائية	72.4	17.4	5.3	3.7	0.8	-	-	-
زجاج مصري (1500ق.م)	67.8	13.7	4.0	2.3	4.4	2.3	1.0	-

الزجاج هو سائل متصلب (super cooled liquid) مخلوط من سيلكات بعض العناصر او اكاسيدها، فعندما تنصهر المواد تتسارع جزيئات المادة بالحركة حتى اذا ما وصلت درجة حرارة الانصهار تصبح بشكل سائل واذا زادت درجة الحرارة عن درجة حرارة التبخر فان هذه المادة تتحول الى بخار واذا بردت درجة حرارة هذه المادة ووصلت الى اقل من درجة الانصهار فان هذه المادة تتصلب.

عادةً المواد تتصلب بشكلين هما:

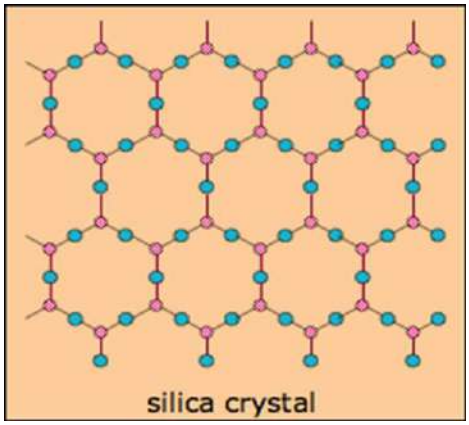
اولاً: الشكل البلوري سائل متصلب الشكل البلوري وهو ان تتجمع الجزيئات بشكل هندسي حيث تشكل كل مجموعة من الجزيئات شكلا هندسيا معينا كالمنشوري او المكعب، وتحدث هذه الحالة عندما يكون التبريد بطيئاً، كما في الشكل (2-1).

ثانياً: ان تتجمد وهي بالحالة نفسها التي هي عليها وهي شكل السائل وما يميز هذه الحالة ان جميع الجزيئات تكون المسافات البينية بينها متساوية بعكس حالة التبلور التي تتخذ كل مجموعة شكلا هندسيا لها مسافاتها البينيه الخاصة ومن ثم كل بلوره تبعد عن البلورة الاخرى بمسافة مختلفة، وتحدث هذه الحالة عندما يكون التبريد سريعاً, كما في الشكل (2-2).

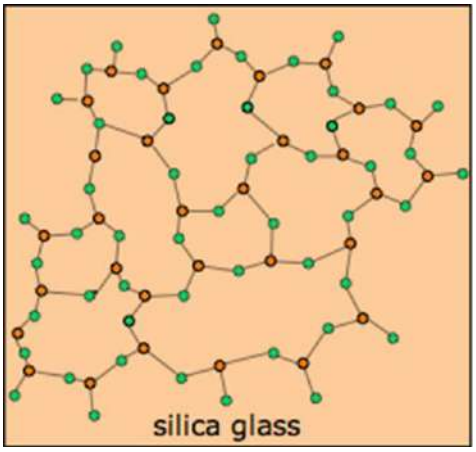
تشترك طرائق تحضير الزجاج في تحطيم البنية البلورية للمادة أو لمزيج المواد المكوِّنة له ونشوء بنية غير بلورية عديمة الانتظام، اما السِّمة المميزة له وهي ظاهرة الانتقال إلى الحالة الزجاجية (glass transition phenomena) التي تحصل لدى كل دورة تميع حراري للزجاج عند درجة حرارة يرمز لها T_g وتقترن بقيمة ثابتة للّزوجة مهما كان منشأ الزجاج وتركيبه.

بناءً على ذلك، يكون التعريف العمومي للزجاج على النحو الآتي: «الزجاج هو جسم صلب لا بلوري يتمتع بظاهرة الانتقال إلى الحالة الزجاجية».

ان التركيب الذري للزجاج لا يحتوي أي تناظر انتقالي، ولكن نظراً لخصائص الترابط الكيميائي فإن الزجاج قد يمتلك درجة ما من الانتظام قصير المدى نسبة إلى المضلعات الذرية الموضعية القريبة ولكنها لا تتواصل في الزجاج على المدى البعيد.



شكل 2-1 بنية بلورات السيلكا (SiO_2) المنتظمة



شكل 2-2 بنية زجاج السيلكا (SiO_2) العشوائية

3-2 تركيب الزجاج :

تتألف معظم أنواع الزجاج الصناعي من أكاسيد لا عضوية تصنف ضمن ثلاث فئات:

1- الأكاسيد المشكِّلة للشبكة في بنية الزجاج مثل: SiO_2، B_2O_3، GeO_2، P_2O_5، V_2O_5.

2- الأكاسيد المغيِّرة لبنية الزجاج (الصاهرة) مثل أكاسيد العناصر القلوية مثل:

$$(MgO, K_2O, CaO, Na_2O)$$

3- الأكاسيد الوسطية التي تنتمي، وفق التركيب الكيمياوي للزجاج، إلى إحدى الفئتين السابقتين مثل:

$$Al_2O_3، Fe_2O_3، TiO_2، PbO، ZnO$$

اقتصر الزجاج القديم على سيلكات الصوديوم والكالسيوم التي ماتزال تدخل في تركيب معظم أنواع الزجاج المسطح والمجوف، لكن الإنتاج العالمي للزجاج يشتمل اليوم على مئات التراكيب الكيمياوية المختلفة.

يعطي الجدول (2-2) التركيب الكيمياوي لبعض أنواع الزجاج الصناعي وفق النسب المئوية الوزنية للمكوّنات علماً بأنه لم تذكر بعض الشوائب ضمن هذه المكونات لندرتها.

4-2 المواد الاساسية للزجاج (المواد الاولية والمواد الثانوية):

تقسم المواد الخام الأولية المستعملة في صناعة الزجاج إلى قسمين رئيسين هما:

أولا : المواد الأساسية وتضم :

1- الرمل أو السيلكا :

يشكل اوكسيد السيليكون المادة الأساس التي يصنع منها الزجاج العادي ونحصل عليه من الرمل من أهم المواد التي تدخـــل فـــي الصنـــاعة حيث تتكون أساساً من معدن الكوارتز كما في الشكل (2-3) ويجب أن تتميز رمال الزجـاج بدرجة عالية من النقاوة ويكون لونها الأبيض لاحتوائها على نسبة ضئيلة جداً من المواد الملونة مثل اوكسيد الحديد و الكروم و التيتانيوم.

جدول 2-2 مكونات بعض انواع الزجاج

التركيب الكيميائي	زجاج الكراون البصري BK7	زجاج الكريستال (سيليكات الرصاص والبوتاسيوم)	زجاج الألياف (بورو سيليكات الالمنيوم والكالسيوم)	زجاج مصابيح بخار الصوديوم (بورات الألمنيوم و الصوديوم)	زجاج لحام مع التنكستن	زجاج مصابيح (سيليكات الالمنيوم والكالسيوم والباريوم)	زجاج المختبرات (بورو سيليكات الصوديوم)	زجاج النوافذ (سيليكات صودا والكالسيوم)	زجاج الفلنت البصري
SiO_2	68.9	51	54.5	8	74	61	80	72	40.9
B_2O_3	10.1		8.5	48	15	1	12.5		
P_2O_5									
Al_2O_3			14.5	24	1	16	2	2	
PbO		39							50.8
CaO			22	6		10		9	
MgO								3	
BaO	2.8				6	12			
Na_2O	8.8	1.7		14	4		5.5	14	0.5
K_2O	8.4	7.6							6.8
Fe_2O_3									
As_2O_3	1.0								1.0

ويحتوي الرمل عادة على حبيبات سوداء او حمراء داكنة قد تكون هذه الحبيبات حديدا او اي معدن اخر ومن الضروري ازالتها من الرمل, ويمكن ازالة الحبيبات السوداء او الشوائب الاخرى الموجودة بالرمل الذي يستعمل في صناعة الزجاج بالغسل والتعويم او بالفصل المغناطيسي ....وعمليات التنقية ودرجاتها التي يجب استعمالها تعتمد على نوع الزجاج الذي يصنع من ذلك الرمل، فالرمل الذي يستعمل لصناعة البصريات او زجاج الرصاص البلوري يجب ان لا يحتوي على اكثر من (0.015%) من اوكسيد الحديديك (Fe_2O_3) وقد يحتوي الرمل المستعمل في صناعة القناني الزجاجية على نسبة (0.05%) من اوكسيد الحديد للقناني عديمة اللون, وتزيد هذه النسبة عند صناعة القناني الملونة. كذلك يجب ان يكون الحجم الحبيبي (0.1 – 0.5 µm) فإذا كان الرمل خشنا سوف يكون من الصعب صهره واذا كان اصغر بكثير من (0.1 µm) سوف يدخل فيه هواء كثير وبذلك يكون المنتوج زجاجا ذا فقاعات وعموما يجب توافر المزايا التالية في الرمال الصالحة لصناعة الزجاج :

1- يجب ان يكون التركيب الكيمياوي سيلكا نقية تقريبا (SiO_2).

2- ان لا يزيد محتوى الحديد عن 0.045% في الرمال الصالحة لتحضير الزجاج العادي (زجاج النوافذ والقناني...).

3- ان لا يزيد محتوى الحديد عن 0.015% في الرمال المعدة لتصنيع الاجهزة البصرية .

الشكل 2-3 تهيئة رمل السيلكا لصناعة الزجاج.

من الطرق الشائعة لتصنيع الزجاج هي خلط كمية كبيرة من الرمل مع كميات قليلة من الجير والصودا وتسخينه حتى يصبح كتلة من السائل عالي اللزوجة، يتم بعدها تشكيله بطريقة معينة ومن ثم يبرد ليكون زجاجا .

يعد زجاج الصودا والحجر الجيري (الزجاج المسطح) هو الزجاج الأكثر شيوعاً و استعمالاً في العالم بحيث تبلغ نسبة هذا النوع من الزجاج أكثر من (90%) من إجمالي الزجاج المستعمل في العالم. أما زجاج البوروسيليكات وهو ما يسمى بزجاج البايركس فهو يتكون من (80%) من السيلكا و (4%) من القلويات و (2%) من الألمونيوم و (13%) من اوكسيد البوريك. وهذه النسب تعطي هذا النوع من الزجاج ثلاثة أضعاف قوة زجاج الصودا والحجر الجيري.

أما زجاج السليكا المنصهر فهو يتكون من (100%) من السيلكا وهو يعد من الزجاج العالي التكلفة وهو مقاوم للصدمات.

أهم خاصية للزجاج من ناحية تصنيعه هي لزوجته والتي تتعلق بدرجات الحرارة، لذا فإن زجاج السيلكا النقي له لزوجة عالية ويحتاج إلى حرارة عالية جداً للتخلص من الفقاعات الموجودة فيه. وهذا الشيء يجعل من صناعة زجاج السيلكا النقي مكلف جداً. لذا ولأسباب علمية يلزم إضعاف زجاج السيلكا لكي يسهل تصنيعه بشكل اقتصادي. وأن اوكسيدات المعادن القلوية هي خير وسيلة لتحقيق ذلك.

ويكمن السر في ذلك بأن كل ذرة سيليكون ترتبط بأربع ذرات فقط من الأوكسجين ، وأن أي ذرات إضافية من الأوكسجين تعمل على خلخلة التشكيل المتماسك والقوي والمكون من سيليكون (اوكسجين) سيليكون. لذا أصبح من السهل علينا تغيير تركيب زجاج السيلكا وجعله أكثر تحركاً، و ذلك باستخدام اوكسيدات المعادن القلوية.

تعد اوكسيدات المعادن القلوية من أهم عوامل الصهر المستعملة في صناعة الزجاج، و أكثر هذه الاوكسيدات استعمالاً هي الصودا التي تعتبر أرخصها ثمنا، وقد استعملت اوكسيدات معادن قلوية أخرى لهذا الغرض مثل (البوتاسيوم و الليثيوم وغيرها).

2- مركبات الصوديوم:

تعمل مركبات الصوديوم على تقليل درجة الانصهار ويساعد في تشكيل الزجاج. تصنع عادة كاربونات الصوديوم (رماد الصودا Soda Ash) من الملح العادي (NaCl) كلوريد الصوديوم ويمكن توضيح التفاعلات بالطريقة الآتية:

$$NaCl+H_2O+NH_3+CO_2 \rightarrow NaHCO_3+NH_4Cl$$

فعند تسخين بيكاربونات الصوديوم تتكون كاربونات الصوديوم وثنائي اوكسيد الكاربون والماء

$$2NaHCO_3 \rightarrow Na_2CO_3+CO_2+H_2O$$

توجد كاربونات الصوديوم بشكل مصادر طبيعية في اماكن قليلة من العالم, اذ تحتوي البرك في هذه الاماكن على كاربونات الصوديوم الاحادي ومنها يمكن بسهولة الحصول على كاربونات الصوديوم. والصودا الجيدة يجب ان تحتوي على (99%) من كاربونات الصوديوم كحد ادنى والشوائب الرئيسية في رماد الصودا الطبيعي على نسبة قليلة من الكلوريد وهذه غالبا غير مرغوب فيها كما يجب ان لا تزيد نسبة كبريتات الصوديوم (Na_2SO_4) عن (0.1%).

معظم كاربونات الصوديوم المستعملة غالبا في معامل الزجاج حبيبية وغالبا ما تكون منتوجا غباريا .

وتكمن فوائدها في ما يأتي :

1- اكسدة الحديد لتقليل تأثيره على اللون الصافي المطلوب.

2- خفض درجة انصهار السيلكا عند الاندماج معها.

3- الدولوميت و الكلس:

يتواجد خام الدولوميت في عدة صور بلورية وغير بلورية، شكل (2-4) و يتميز بألوان متنوعة أكثرها شيوعا عديم اللون والأبيض وتشتهر بلورات الدولوميت باللون الوردي. وهو عبارة عن كربونات المغنيسيوم والكالسيوم $CaMg(CO_3)_2$ ويعرف ايضا بالحجر الجيرى المغنسيومي أو الدولوميتي. يعد الدولوميت كمادة صاهرة ويعمل على زيادة قوة المنتج الزجاجي النهائي. نظرياً مكونات الدولوميت هي:

$CaCO_3$	% 54.35
$MgCO_3$	% 45.65

او بتعبير آخر:

CaO	% 30.4
MgO	% 21.7
CO_2	% 47.9

شكل 2-4 يوضح خام الدولوميت

يجب ان تكون نسبة اوكسيد الحديد في الدولوميت المستعمل في صناعة الزجاج واطئة جداً. عموماً مواصفات الدولوميت وحجر الكلس المستعمل في الصناعات الزجاجية هي:

	المركب	النسبة المئوية
1	(SiO_2) silica	2.5 (max)
2	(Fe_2O_3) Iron - Calcite or marble. - Limestone. - Dolomitic limestone and dolomite.	0.05 (max) 0.10 (max) 0.15 (max)
3	Lime (as CaO)	53.00 (min)
4	Total lime and magnesia	54.50 (min)

اما حجر الكلس، شكل (2-5) فإنه يضاف للخلطة الزجاجية لكي يدخل اوكسيد الكالسيوم في الزجاج. ويوجد حجر الكلس على شكل صخور في اماكن مختلفة ولكن النوعية ليست جميعها مقبولة.

حجر الكلس الجيد يحتوي على نسبة (55 %) من اوكسيد الكالسيوم ومعظم حجر الكلس هو نوع من الدولوميت, لذلك يحتوي على شيء من كاربونات المغنيسيوم ($MgCO_3$) وتكون في معظم الحالات غير مقبولة، كما يحتوي معظم حجر الكلس على الالومينا وهذه عادة مقبولة جدا ويجب ان لا يزيد الحديد المتواجد في حجر الكلس المستعمل في صناعة زجاج القناني والزجاج المسطح عن (0.2%) من اوكسيد الحديديك (Fe_2O_3) وتستلم بعض شركات الزجاج حجر الكلس على شكل صخور وتقوم بتكسيره وطحنه وغربلته.

شكل 2-5 حجر الكلس على شكل صخور ومسحوق ناعم

تفضل معظم معامل الزجاج الحصول على حجر الكلس وكل المواد الاولية الاخرى جاهزة للاستعمال في خلطة المواد الاولية. ويجب ان يكون الحجم الحبيبي لحجر الكلس (0.1 µm) ونسبة قليلة اقل من (10%) قد تقبل اذا كانت حبيباتها خشنة على ان لا تصل لأكثر من (1.5 µm). اذ يساعد اوكسيد الكالسيوم على تصلب الزجاج.

4- الفلدسبار:

وهو على عدة انواع منها الكالسيومي وتركيبه الكيميائي هو:

($CaO.Al_2O_3.2SiO_2$) ويدعى بالأنورثيت والصوديومي: ($Na_2O.Al_2O_3.6SiO_2$) ويطلق عليه الألبيت والبوتاسيومي اذ يعرف بالاورثوكليز ($K_2O.Al_2O_3.6SiO_2$)، شكل (2-6) يوضح صوراً لأنواع مختلفة من احجار الفلدسبار ويوجد اختلاف كيميائي بين الأورثوكليز والألبيت، وتعرف المعادن الواقعة بينهما بالفلدسبار القلوى وتشمل على السيانيدين والميكروكلين بجانب الأورثوكليز.

يستعمل الفلدسبار بشكل كبير لوجوده بشكل نقي كما انه رخيص الثمن وينصهر بسهولة. يستعمل الفلدسبار كمواد اولية من اجل اضافة الالومينا (Al_2O_3) الى الزجاج. تعد الالومينا من المركبات المهمة في الزجاج العادي (صودا- كلس- سيلكا) يحتوي عادة على (2%) من الالومينا وهذا الاوكسيد يحسن من خواص الزجاج وقابليته الصناعية, فهو يزيد من مقاومته الميكانيكية والكيمياوية ويقلل من قابليته للتبلور .

تدخل بعض الالومينا في تركيب الزجاج عندما تذوب في الزجاج بعض المواد الحرارية من الفرن ذاته, وتحتوي معظم المواد الاولية المستعملة في صناعة الزجاج على الالومينا كشوائب ولكن معظمها تكون في الزجاج باستعمال الفلدسبار كمواد اولية.

الألبيت

الأنورثيت

الاورثوكليز

شكل 2-6 الفلدسبار

5- البوراكس :

يحتوي على اوكسيدي الصوديوم والبورون اذ إن هذه المادة تنصهر بشكل جيد وتقلل من معامل تمدد الزجاج . البوراكس هو ثالث بورات الصوديوم ($Na_2B_4O_7.10H_2O$) او:

($Na_2O.2B_2O_3.1OH_2O$) : Na_2O, 16.2%; B_2O_3, 36.6%; H_2O, 47.2%.

شكل 2-7 خام البوراكس

يستعمل البوراكس، شكل (2-7) كمواد اولية لإضافة اوكسيد البوريك (B_2O_3) للزجاج ويمكن استعمال حامض البوريك (H_3BO_4) كمواد اولية. تهدف اضافة اوكسيد البوريك للزجاج, لاعطائه مقاومة كيمياوية وحرارية عالية ويحتوي زجاج البايركس (زجاج مقاوم للحرارة) على 12% من اوكسيد البوريك تقريبا.

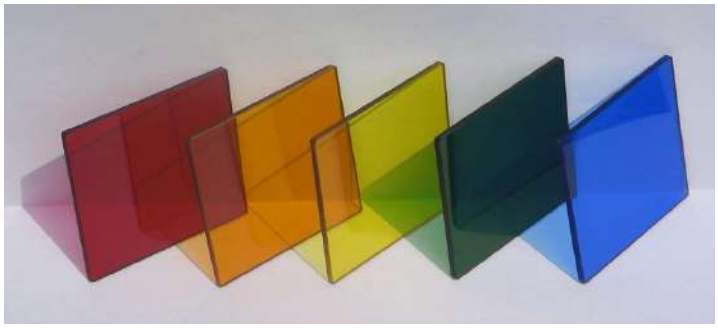
ويضاف اوكسيد البوريك في بعض الاحيان بكميات قليلة % (1-2) من اجل تحسين عملية صهر الزجاج. كذلك اوكسيد البوريك يخفض من درجه لزوجه السيلكا دون أن يزيد من تمددها الحراري، و مع إضافة كمية قليلة من اوكسيد الألمنيوم يحافظ على شفافية الزجاج، ويجعله أكثر مقاومة للحرارة (البايركس)، وهي تستعمل في صناعة أدوات المخابز و أجهزة المختبرات و الأنابيب الصناعية لقدرتها على مقاومة التغيرات المفاجئة في درجات الحرارة و تحملها للتأثيرات الكيميائية. ولذلك نجد أن الزجاج الحاوي نسبة كبيرة من اوكسيد البورون لا ينكسر إذا سخن أو برد فجأة اي انه مقاوم للصدمة الحرارية.

6- كاربونات البوتاسيوم K_2CO_3 :

تستعمل كاربونات البوتاسيوم بدلا من رماد الصودا (كاربونات الصوديوم) في بعض الصناعات الزجاجية مثل زجاج الرصاص المتبلور والاواني الزجاجية ذات النوعية العالية الجودة. وللبوتاس قابلية كبيرة لامتصاص رطوبة الهواء لذلك من الضروري حفظها في اماكن جافة عند الخزن. ويحصل على البوتاس بتبخير ماء الرماد الذي يحصل عليه من ترشيح غسيل رماد الخشب. اما اليوم فيحصل على البوتاس من كلوريد البوتاسيوم. ويعطي البوتاس زجاجا براقا اكثر مما تعطيه كاربونات الصوديوم كما انه يزيد من معامل انكسار الزجاج.

ثانيا : المواد الثانوية:

تضم المواد التي تضاف لتحسين نوعية الزجاج كالمواد الملونة ومسرعات الانصهار والشفافية مثل اوكسيد الرصاص واوكسيد التيتانيوم واوكسيد الباريوم كما في الشكل (2-8) الذي يوضح استعمال اكاسيد ملونة في الزجاج.



الشكل 2-8 يوضح زجاج ملون

1- الرصاص الاحمر : (اوكسيد الرصاص الثلاثي) Pb_3O_4:

مصدره تسخين اول اوكسيد الرصاص (PbO) في درجة حرارة 450 C^o لبضع ساعات ثم تبريده ليكتسب اللون الاحمر، ويسبب اوكسيد الرصاص صعوبات في خلطة الزجاج إذ انه يميل للاختزال والتحول الى معدن الرصاص الذي يلون الزجاج باللون الاسود ولذلك لابد من إضافة مواد مؤكسدة مثل نترات الصوديوم او البوتاسيوم. يمتاز الزجاج الذي يدخل في تركيبه اوكسيد الرصاص بتحسن ظاهر في خواصه الضوئية إذ يزيد من معامل الانكسار. كل أنواع الزجاج المستعمل في الاجهزة الضوئية يحتوي على اوكسيد رصاص بنسبة عالية قد تصل احياناً الى 40 % من تركيب الزجاج، كما يلاحظ ان الزجاج الذي توجد به نسبة عالية من اوكسيد الرصاص سريع التأثر ببخار الماء او بأبخرة الاحماض.

يحتوي الزجاج الرصاصي على 30 % من اوكسيد الرصاص او اكثر ويجعل الزجاج متبلور وطري ولين لذلك من السهل قطعه والحفر عليه , ويزيد اوكسيد الرصاص كثافة الزجاج لذلك يكون الزجاج المتبلور اثقل من الزجاج العادي المصنوع من (الصودا- كلس- سيلكا).

2- الكوارتز :

الكوارتز، وهو من المعادن شائعة الوجود في الطبيعة وتركيبة الكيميائي SiO_2، ومن امثلته حجر الصوان الذي نحت منه الإنسان القديم كثيراً من أدواته التي كان يستعملها، وكان هذا التركيب أيضا أول من ارشد الإنسان القديم إلى النار التي اكتشفها عن طريق احتكاك بعض قطع الصوان ببعض. و "المرو"

مصطلح يطلق على الكوارتز. الكوارتز النقي لا لون له وذو شفافية عالية ويوجد من المرو أصناف كثيرة يتم التفريق بينها بدرجة اللون وبدرجة تبلورها، وتستعمل الأنواع الملونة من المرو في أحجار الزينة، اما البلور الصخري فيستعمل في صناعة الأجهزة الكهربائية والبصرية، بينما يستعمل مسحوق الكوارتز في صناعة ادوات القشط والتنعيم والخزف والطلاء والاسمنت والزجاج والطابوق الزجاجي.

كما يتميز الكوارتز بألوان متعددة، فهناك الكوارتز الوردي والأسود والشفاف ... وغيره ، وذلك نتيجة اختلاف التركيب الشبكي واختلاف نسبة وأنواع الشوائب ، فالشفاف النقي منه عديم اللون ويطلق عليه اسم "البلور الصخري". وهناك الكوارتز المعتم (عين النمر) وأما البنفسجي (لأنه يحتوي على القليل من المنغنيز) فيعرف باسم "الياقوت الجمري". أما إذا كان لونه أصفر فيعرف باسم "الزمرد الزائف"، وإذا كان لونه بنياً فيعرف باسم "الكوارتز اللباني" ويوجد في جبال الألب، على أن كافة أشكاله هذه هي نصف شفافة.

يقول الجيولوجيون أن الكوارتز هو أخر من تبلور من المعادن تحت درجات منخفضة نسبياً ، ولذلك فإن تركيبه الكيميائي وصفاته الفيزيائية تجعله ثابتاً، ولا يتأثر بالتجوية الكيميائية (تحلل الصخور عن طريق تغيير مكوناتها المعدنية إلى معادن أخرى بإضافة أو فقدها بعض العناصر بفعل الظروف الجوية) بينما تحولت المعادن الأخرى إلى مكونات أضعف وأقل تماسكاً، مما يسرع عمليات التجوية الميكانيكية بالإضافة الى الكيميائية، ويستعمل الكوارتز في صناعة الزجاج والكريستال وأدوات المائدة وكذلك البصريات, وتدخل الأنواع عالية النقاء منه في الصناعات الالكترونية مثل صناعة السيلكونات التي تدخل في تركيب الكمبيوتر ومعظم الأجهزة الالكترونية والخلايا الشمسية .

3- اوكسيد البورون B_2O_3:

يتواجد في الطبيعة على شكل بوراكس ($NO_2B_4O_7.10H_2O$) أو حامض البوريك ويفضل البوراكس في الصناعة لاحتوائه على اوكسيد الصوديوم احدى مركبات الزجاج ، واوكسيد البورون عامل من عوامل تكوين الزجاج اذ يعمل على تحسين الخواص الحرارية للزجاج اذ يقلل من معامل التمدد الحراري ولهذا وجب وجوده في خلطة زجاج المعامل كما يستعمل في بعض الزجاج الملون وفي انتاج طلاء الزخرفة .

4- حامض اوكسيد الفسفور P_2O_5:

أهم مصادره فوسفات الكالسيوم ، فوسفات الصوديوم ويستعمل أساساً على هيئة مسحوق عظم واوكسيد الفسفور يحل محل اوكسيد السيليكون في صناعة نوع من الزجاج خاص بأبحاث الذرة، وهذا الزجاج لا يتأثر بحامض الفلور وهو عامل مهم من مكونات الزجاج لإعطائه نصف الشفافية ويدخل في صناعة زجاج البصريات .

5- اوكسيد الصوديوم Na_2O :

لا يوجد في الطبيعة منفرداً بل يمتزج مع انواع السيلكا الاخرى. ويحصل على اوكسيد الصوديوم الداخل في صناعة الزجاج من رواسب طبيعية تعرف بكربونات الصوديوم الداخل في صناعة الزجاج (كاربونات الصوديوم) وهو مصدر طبيعي مهم لصناعة الزجاج إذ يدخل في انواع الزجاج كعامل مهم من عوامل الصهر.

يعمل ايضاً على زيادة تمدد الزجاج وعوامل التوصيل الحراري والكهربائي ولا تتجاوز كميته 18% من وزن الخلطة اما إذا زاد عن ذلك يكون عرضة للتأثر السريع بالرطوبة .

6- اوكسيد الكالسيوم :

يوجد في الطبيعة على شكل ترسبات مختلفة اهمها كربونات الكالسيوم (حجر جيري) ويدخل في صناعة الزجاج على شكل اوكسيد ويشترط في كربونات الكالسيوم الصالحة للصناعة أن لا يزيد نسبة الرطوبة عن 2 % وان لا يزيد ما يمر من الغربال رقم 120 عن 25 % وان لا تزيد نسبة اوكسيد الحديد 0.1 % ويمكن ان يستعاض عن كربونات الكالسيوم بالدولوميت وهو خليط من كاربونات الكالسيوم والمغنيسيوم، واوكسيد الكالسيوم عامل مثبت قوي في الزجاج وبوجوده يتم التفاعل الكيميائي بينه وبين اوكسيد السيليكون عند درجة حرارة 900 C^o وهو ايضاً يساعد على الانصهار، وثاني اوكسيد الكربون الناتج عن هذا التفاعل يساعد على طرد الفقاعات الهوائية او الغازية الموجودة بالزجاج المنصهر كما في التفاعلات الاتية:

$$CaCO_3(g) \xrightarrow[(900-1100)^{\circ}C]{\text{Heat}} CaO\,(s) + CO_2(g)\uparrow$$

$$CaO(s) + SiO_2(s) \rightarrow CaSiO_3(s)$$

وايضاً يزيد من درجة التوصيل الحراري ويقلل من معامل التمدد الحراري كما يقلل تأثره بالرطوبة او الهواء مع ملاحظة انه إذا اضيفت نسبة عالية من اوكسيد الكالسيوم كان الزجاج الناتج غير قابل للتبلور.

<u>الاكاسيد الملونة:</u> يمكن استعمال اكاسيد مختلفة في تلوين الزجاج من خلال اضافتها الى المنصهر الزجاجي لتعطي الواناً مختلفة كما موضح في الجدول التالي.

جدول 2-3 اكاسيد مختلفة في تلوين الزجاج من خلال اضافتها الى المنصهر الزجاجي

الاوكسيد	اللون
أكاسيد الحديد	الاخضر، البني
أكاسيد المنغنيز	اصفر غامق
اوكسيد الكوبالت	ازرق غامق
كلوريد الذهب	احمر ياقوتي
مركبات السيلينيوم	تدرجات الاحمر
اكاسيد الكاربون	العنبر / بني
مزيج من المنغنيز والكوبالت والحديد	الاسود
أكاسيد الأنتيمون	الأبيض
أكاسيد اليورانيوم	اخضر مصفر
مركبات الكبريت	اصفر – بني
مركبات النحاس	ازرق ناصع ، احمر
مركبات القصدير	الابيض
اوكسيد الانتمون والرصاص	الاصفر

عموماً الاكاسيد الداخلة في المنصهر الزجاجي قد تكون اساسية في تحضير المنصهر الزجاجي بما تمتلكه من خصائص تركيبية تساهم في الحصول على منصهر زجاجي قابل للتشكيل، واخرى قد يكون دورها فقط تلوين الزجاج.

اللون الحقيقي للزجاج الناتج من عامل التلوين يعتمد على التركيب الكيمياوي للزجاج وظروف الصهر في الفرن. اما وظائف المركبات الداخلة في تحضير الزجاج فهي موضحة بالجدول (2-4).

جدول 2-4 وظائف المركبات الداخلة في تحضير الزجاج

بعض الأكاسيد الداخلة في المنصهر الزجاجي		
اسم الاوكسيد	الصيغة الكيميائية	التصنيف
اوكسيد السيليكون	SiO_2	مكون أساسي - اوكسيد حامضي
اوكسيد الألمنيوم	Al_2O_3	مكون أساسي - اوكسيد حامضي
اوكسيد البورن	B_2O_3	مكون أساسي - اوكسيد حامضي
اوكسيد الفوسفور	P_2O_5	مكون أساسي - اوكسيد حامضي
اوكسيد الصوديوم	Na_2O	مكون مساعد على الصهر - اوكسيد قلوي (أساسي)
اوكسيد البوتاسيوم	K_2O	مكون مساعد على الصهر - اوكسيد قلوي (أساسي)
اوكسيد الليثيوم	Li_2O	مكون مساعد على الصهر - اوكسيد قلوي (أساسي)
اوكسيد الكالسيوم	CaO	مكون مثبت - اوكسيد ترابي
اوكسيد المغنيسيوم	MgO	مكون مثبت - اوكسيد ترابي
اوكسيد الباريوم	BaO	مكون مثبت - اوكسيد ترابي
اوكسيد الزرنيخ	As_2O_3	تنقية
اوكسيد النيكل	NiO	تلوين
اوكسيد الكروم	Cr_2O_3	تلوين

5-2 انواع الزجاج:

ادناه بعض انواع الزجاج المستعمل في حياتنا اليومية، وسيتم شرح هذه الانواع بالتفصيل في فصول قادمة.

1- البايركس:

يقاوم الحرارة فعند تسخينه لا ينكسر نظرا لصغر معامل تمدده بسبب احتوائه على نسبة عالية من اوكسيد البورون وتصنع منه الصحون واقداح الشاي وزجاجيات المختبرات .

2- الزجاج الصلد (سيلكا 96%):

يمتاز بصغر معامل التمدد وارتفاع درجة انصهاره.

3- الزجاج الصواني:

يحتوي على نسبة كبيرة من اوكسيد الرصاص ويلين بالتسخين ويستعمل في الأجهزة البصرية والمجوهرات الصناعية.

وهناك نوع آخر من الزجاج الصواني يحتوي على نسبة كبيرة من اوكسيد البوتاسيوم وهو غير ملون وصاف ويستعمل في الأجهزة الكهربائية لأنه رديء التوصيل للكهرباء.

4- الألياف الزجاجية:

هي عبارة عن خيوط أو ألياف زجاجية وتتم صناعتها بإمرار المنصهر الزجاجي على شبكة بلاتين مسخنة كهربائيا بشكل مستمر حيث تنتج خيوط زجاجية تلف حول اسطوانة تدور بسرعة .وتستعمل هذه الألياف الزجاجية كمادة عازلة للحرارة وفي صناعة الملابس الواقية من الحريق.

5- الزجاج الضبابي غير الشفاف:

يصنع بإضافة مواد (تكون دقائقها في الحالة الغروية) إلى منصهر الزجاج حيث تبقى الدقائق عالقة لدى تبريد الزجاج وتجعله ضبابيا لأنها تنشر الضوء وتفرقه وذلك بسبب اختلاف معامل انكسارها عن معامل انكسار بقية الزجاج.

تصنيف الزجاج حسب الاستعمال:

- زجاج الإنشاءات مثل زجاج النوافذ والأبواب والسيارات.
- زجاج الاوعية مثل زجاج القناني والأدوية.
- زجاج البصريات مثل العدسات والمجاهر والتلسكوبات.

أشكال وألوان آخرى من الزجاج:

1- الزجاج العائم:

إن مصطلح الزجاج العائم يرجع إلى طريقة التصنيع التي بدأت في بريطانيا بوساطة شركة الستير بيلكنجتون في عام 1959 والتي بوساطتها يتم تصنيع 90% من الزجاج المسطح. المواد الأولية مثل الصودا، السيليكون، الكالسيوم، اوكسيد الصودا والمغنسيوم توزن جيدا ثم تخلط وتوضع في فرن حرارته 1500 Cº. الزجاج المذاب يتدفق من المصهر إلى حوض به مادة القصدير المذابة. العجيب أن عجينه الزجاج ومادة القصدير لا يختلطان ويصبح الجزء الملامس لمادة القصدير مع الزجاج مستقيما تماما. وعندما يخرج الزجاج بعد أن يبرد قليلا من الحوض يوضع في مبرده حتى يبرد و يصبح بنفس برودة الجو.

2- الزجاج المظلل:

عبارة عن زجاج مسطح شفاف يدخل في مكوناته أصباغ من اجل إكسابه خواص التظليل وامتصاص أشعة الشمس. هذا النوع من الزجاج يقلل من اختراق أشعه الشمس لزجاج المباني. الزجاج الملون جزء مهم في التصميم المعماري والمظهر الخارجي للمباني. كما انه يتم استعماله في الديكور الداخلي مثل الأبواب وأطراف السلالم والمرايا.

3- الزجاج المزدوج (ذو الطبقتين):

عبارة عن طبقتين من الزجاج العازل بينهما منطقه فارغة مغلقه بإحكام. من أهم فوائد الزجاج العازل توفير الشفافية التامة وتقليل الفقد الحراري والذي يؤدي إلى تقليل استهلاك الكهرباء.

4- الزجاج المقوى:

عبارة عن نوع من الزجاج المسخن أو المقوى بالحرارة. إحدى أوجه هذا النوع من الزجاج يكون مغطى إما بالكامل أو جزئيا بوساطة إحدى أنواع المعادن. وبالإضافة للدور الجمالي الذي يلعبه هذا النوع من الزجاج فانه يتحكم بدخول أشعة الشمس. يستعمل هذا النوع من الزجاج في العزل الحراري وتغطية الأسقف.

5- الزجاج المرشوش بالرمل:

هذا النوع من الزجاج يصنع بوساطة رش الرمل بسرعة عالية على سطح الزجاج. هذه العملية تقلل من شفافية الزجاج وتعد أفضل من عملية حك الزجاج. في هذه العملية يتم تغطية الأجزاء التي يراد أن تبقى شفافة ويتم رش الرمل على الأجزاء الأخرى. تأثير هذه العملية على شفافية الزجاج يعتمد على قوة الرش ونوعية الرمل المستعمل. هذا النوع من الزجاج يستعمل للأغراض المنزلية والتجارية على سبيل المثال الأبواب وأبواب الحمام والأثاث والفواصل والزجاج الداخلي.

6- الزجاج المقوس (المنحني):

هو عبارة عن زجاج عادي مقوس بطريقة خاصة. يمكن استعماله في الأماكن الخارجية مثل الشرفات وواجهات المحلات. كما انه يتم استعمال هذا النوع على نطاق واسع في أبواب الحمامات والثلاجات والخزائن.

7- الزجاج العاكس:

زجاج عادي مغطى بطبقة رقيقة من المعادن لتقليل اثر الشمس، استعمال المعادن يعطي الزجاج خاصية عدم الشفافية من جهة الطبقة حيث لا يمكن للشخص أن يرى من خلال الزجاج.

8- زجاج المرايا:

يستعمل هذا النوع في صناعة المرايا التي نستعملها في حياتنا اليومية.

9- الزجاج الشمسي:

يستعمل هذا النوع من الزجاج في عملية تصنيع ألواح الطاقة الشمسية التي تمتص الحرارة وتحولها إلى طاقة كهربائية.

أسئلة الفصل الثاني

س1 / اختر العبارة الصحيحة لكل مما يأتي :-

1- من وجهة النظر الفيزيائية يعد الزجاج ــــــــــــ .

a-سائلاً b - صلباً c – بلازما d- سائل متصلب

2- يعد تركيب الزجاج حسب تعريف المواصفات الامريكية ASTM ــــــــــــ .

a- عشوائي التركيب b - بلوري التركيب c – متعدد التبلور d- ولا واحدة مما سبق

3- يحتوي زجاج البايركس على اوكسيد ــــــــــــ بالإضافة الى $SiO_2.Na_2O.Al_2O_3$.

K_2O -a MgO - b CaO – c B_2O_3 -d

4- عند تكرار عملية انصهار الزجاج فأن مقدار درجة حرارة الانتقال الزجاجي T_g ـــــ .

a- يبقى ثابت b - يتغير في كل مرة

c – يتلاشى ويصبح صفراً d- يصبح اكبر من درجة حرارة الانصهار

5- يعد الرمل المصدر الاساسي للحصول على ــــــــــــ .

Al_2O_3 -a MgO - b CaO – c SiO_2 -d

6- يعتبر الفلدسبار مصدراً لأوكسيد ــــــــــــ في الزجاج .

Al_2O_3-a MgO - b TiO_2 – c Fe_2O_3 -d

7- للحصول على زجاج لونه أزرق غامق يضاف أوكسيد ــــــــــــ الى الزجاج .

a-الحديد b - المنغنيز c – الكوبالت d- مركبات النحاس

س2/ ما الاسباب التي جعلت الزجاج يستعمل بشكل كبير في مجالات متعددة ؟

س3/ عرف الزجاج من وجهة النظر الكيمياوية ؟

س4/ ما أسباب عدم انصهار الزجاج بدرجة حرارية ثابتة ومحدودة ؟

س5/ ما المكونات الاساسية للزجاج ؟

س6/ ما اوجه التشابه والاختلاف بين الزجاج والسيراميك ؟

س7/ ما تصنيف فئات مكونات أكاسيد الزجاج ، اذكر مثالين لكل صنف ؟

س8/ ما تركيب الحبيبات السوداء والحمراء في الرمل ، ولماذا يجب أزالتها عند استخدام الرمل في صناعة الزجاج قبل الاستعمال وكيف يمكن ازالتها ؟

س9/ ما مدى التدرج الحبيبي للرمل المستعمل في صناعة الزجاج وماهي مضار الزيادة أو النقصان عن هذا المدى ؟

س10/ أحسب النسب المئوية للأكاسيد الملونة لفلدسبار لاورثوكليز ؟

س11/ وضح بالمعادلات الكيمياوية أهمية أضافة كاربونات الكالسيوم الى الزجاج ؟

س12/ أعط تعريفاً مبسطاً للأنواع الاتية من الزجاج :

(البايركس، الالياف الزجاجية، الزجاج المظلل، الزجاج العاكس)

س13/ مالغرض من اضافة الفلسبار الى خلطة الزجاج؟

الفصل الثالث

تهيئة مواد الزجاج الاولية

أهداف الفصل الثالث:

من المتوقع أن يكون الطالب قادرا على:

-تهيئة المواد الخام الاولية الداخلة في تصنيع الزجاج وحساب النسب المئوية للخلطات.

- التعرف على عمليات خلط مكونات الزجاج.

- ادراك اهمية وتأثير كل مادة داخلة في تركيب وخصائص الزجاج.

- التعرف على دور المواد الداخلة في تركيب الزجاج على عمليات الصهر.

محتويات الفصل الثالث

(1-3) تمهيد.

(2-3) تهيئة المواد الاولية.

(3-3) خلط المواد الاولية.

(4-3) صهر المواد الاولية.

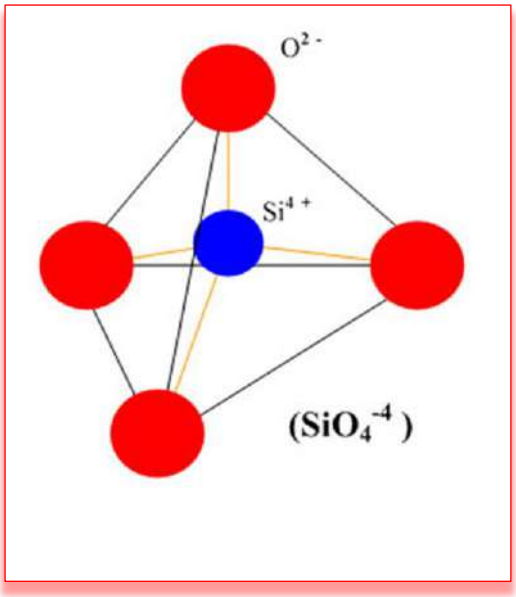
(5-3) التصفية والتجانس.

(6-3) ازالة الالوان.

1-3 تمهيد:

لم تكن طبيعة الزجاج معروفة لمدة طويلة من الزمن الى أن تم اكتشاف الاشعة السينية (X-Ray) وأستطاع العالم وارن " Warren " من وضع صورة واضحة لهذه المادة أو مقارنة بالمواد الأخرى فإن الأشعة السينية تعطي خطوطاً واضحة بالنسبة للمواد المتبلورة بينما تعطي حزمة ضوئية متداخلة " غير واضحة " لمادة الزجاج ولذا فإن الاشعة السينية لا تعطي بنية منتظمة للزجاج على عكس المواد المتبلورة ، وعليه فإن أوضاع البلورات يكون عشوائياً وأن بنية الوحدة الخلوية لا تتكرر بشكل منتظم كما للمواد البلورية .يمكن إيضاح هذا إذا أخذنا معدن السيلكا وهو من المكونات الأساسية للزجاج (SiO_2).

زجاج السيلكا لا يتكون من جزيئات منفصلة بل يتواجد في شكل شبكي ثلاثي الأبعاد وأن البنية الأساسية لشبكة السيلكات هي رباعيات سيلكون أوكسجين شكل (3-1). حيث ترتبط ذرة السيلكون بأربع ذرات من الأوكسجين في أركان رباعي منتظم وأن رباعيات السيليكا تتحد عند الأركان بمقاسمة ذرة الاوكسجين بين ذرتين من السيلكون ، وكل أربع ذرات من الاوكسجين (رباعي واحد) يمكن اتحادها مع أربع رباعيات أخرى للحصول على نسيج شبكي ثلاثي الابعاد في هذه الحالة تعرف الاوكسجينات المتحدة بالاوكسجينات الحصرية.



شكل 3-1 شبكة السيلكات الرباعية

في زجاج السيلكا النقي مثل الكوارتز (SiO_2) فإن نسبة السيلكون للأوكسجين تساوي 2:1 وكل الاوكسجينات هي أكسجينات حصرية " منظرية " وعند دخول ذرة الصوديوم في الزجاج فإنها ترتبط أيونياً مع ذرة الاوكسجين وهذا يقود الى تمزيق وإعاقة استمرارية النسيج الشبكي لأن البعض من ذرات الاوكسجين، لم تعد متقاسمة بين الرباعيات بل مرتبطة بذرة سيلكون واحدة، وهذا النوع من ذرات

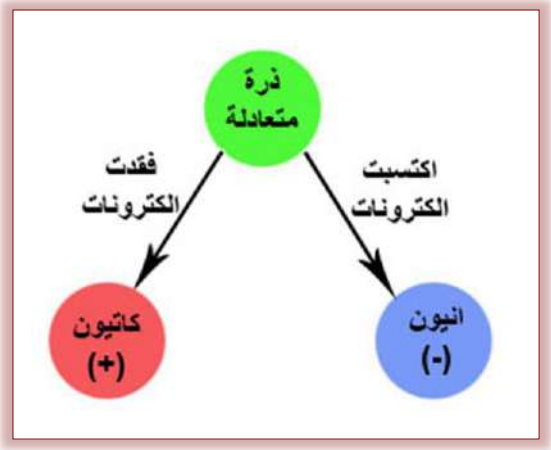
الاوكسجين يعرف بالاوكسجينات غير الحصرية. هناك العديد من الاكاسيد غير العضوية يمكن إضافتها لزجاج السيلكات والعناصر التي تحل محل السيلكون تسمى مكونات النسيج الشبكي.

2-3 تهيئة المواد الاولية:

1- طبيعة المواد الاولية:

الكاتيون : تسمى الأيونات الموجبة الشحنة كاتيونات، ويتكون الكتيون عندما تفقد الذرة إلكترونات وتصبح ايوناً موجباً.

الانيون : تسمى الأيونات سالبة الشحنة أنيونات، ويتكون الأنيون عندما تكتسب الذرة إلكترونات وتصبح ايوناً سالباً، شكل (3-2).



شكل 3-2 الانيون والكاتيون

معظم الكاتيونات الاحادية وثنائية التكافؤ لا تكون زجاج لوحدها بل تكون رباطاً أيونياً في انيون الاوكسجين ولذا تسمى معدلات النسيج الشبكي الزجاجي.

هناك قليل من الأيونات ثنائية التكافؤ Zn , Mg ، يمكن أن تعمل كمكونات أو معدلات للنسيج الشبكي وهذا يتوقف على طبيعة وكمية المكونات الاخرى كتربة الزجاج.

2- مكونات النسيج الشبكي:-

لقد عرف الانسان منذ زمن طويل أن عناصر معينة ينتج عنها حالة زجاجية ولكن لم يعرف الطريقة التي تكونت بها هذه الحالة حتى 1932 م حين قدم العالم "ركازن" أبحاثه في هذا المجال وقد أوضح الشروط اللازمة التي بموجبها يصبح أي مركب كيميائي مكوناً للزجاج وتتلخص الشروط في الاتي:

1- يجب أن لا ترتبط ذرة الاوكسجين أو أي أيون بأكثر من كاتيونان .

2- أن يكون عدد الاوكسجين أو ألأنيون قليلاً حول أي كاتيون .

3- لابد لمجموع رباعيات الاوكسجين الاتحاد بالأركان وليس بالجوانب لتكوين نسيج شبكي ثلاثي الابعاد.

4- لابد على الاقل من مشاركة ثلاثة اركان من كل رباعي.

وخلاصة القول:

1- ان الاوكسيد الاحادي التكافؤ (M_2O) لا يكون زجاجاً بل يكون رابطاً ايونياً بين الكاتيون والانيون

2- ان الاوكسيد ثنائي التكافؤ (MO) لا يكون زجاجاً لأنه لا يكون نسيجاً شبكياً ثلاثي الابعاد .

3- يمكن للأوكسيد ثلاثي التكافؤ (M_2O_3) ان يكون زجاجاً اذا كان الكاتيون ثلاثي النسق " الرقم النسقي 3 " واوكسيد البورون (B_2O_3) هو الاوكسيد ذو التكافؤ الثلاثي الوحيد الذي يكون زجاجاً

4- ان الاوكسيد رباعي التكافؤ (MO_2) يكون زجاجاً اذا كان الكاتيون ثلاثي أو رباعي النسق او اذا كان نصف قطره اقل من " $0.56\ A^o$ " والسيلكا (SiO_2) والجرمانيوم (GeO_2) يفيان بهذه المتطلبات.

5- ان الاوكسجين خماسي التكافؤ (M_2O_5) لا يمكن ان يكون اكثر من رباعي النسق اذا كان المكون له زجاجاً ولذا فإن اوكسيد الفسفور (P_2O_5) واوكسيد الزرنيخ (As_2O_5) هما الاحتمالات الوحيدة.

6- ان الاكاسيد ذات التكافؤات الاكثر من ذلك لا تكون زجاجاً.

عموماً فان الاكاسيد التي تكون زجاجاً هي التي لها رقم نسقي 3،4 ولها كاتيونات (M_2O_3 ، M_2O ، M_2O_5) وهناك خمسة من هذه الاكاسيد (As_2O_5 ، P_2O_5 ، GeO_2 ، SiO_2 ، B_2O_3) وهناك ايونات تلعب دوراً كبيراً في بنية الزجاج لكن الاشارة في البناء الشبكي وهذه تتضمن كاتيونات الفلزات القلوية مثل :

(Rb , Li , K , Na) وكاتيونات القلويات الترابية $Ba^{+2}Sr^{+2}Ca^{+2}$ بينما عنصري Mg^{+2}, Be^{+2} وبالرغم من انهما من المجموعة نفسها لكن يدخلان الى حد ما في البناء الشبكي. هذه الكاتيونات تحتل فتحات في النسيج الشبكي ولها خاصية موازنة النقص في التكافؤ الذي ينتج عن عملية التبادل – المثلى او نتيجة لذرات الاوكسجين غير المشبعة وهذه الكاتيونات مهمة لانها تمثل النواة التي يبنى عليها النسيج الشبكي .

ان الكاتيونات التي لها دور في تكوين اكاسيد الزجاج يمكن تقسيمها الى ثلاث مجموعات، لاحظ الجدول (3-1):

1- مكونات البنية الشبكية .

2. الكاتيونات التي لا تكون النسيج الشبكي بنفسها لكنها تحل كاتيونات مكونة من بنية شبكية " الكاتيونات البينية " .

3. الكاتيونات التي تحتل الفراغات في الشبكة وتعرف بمعدلات النسيج الشبكي .

وهناك نقطة اخرى لابد من ملاحظتها وهي ان قوة الترابط بين الكاتيون والاوكسجين دليل على المقدرة على تكوين زجاج، فالرباطات الاقوى دليل على المقدرة على تكوين زجاج، اما الرباطات الاضعف فدليل على الكاتيونات التي تحتل الفراغات.

الجدول 3-1 دور الكاتيونات في بنية الزجاج

الكاتيونات التي تحتل الفراغ			الكاتيونات التي لها قابلية الاحلال مكان مكونات الشبكة			الكاتيونات المكونة للشبكة		
الرقم النسقي	التكافؤ	كاتيون	الرقم النسقي	التكافؤ	كاتيون	الرقم النسقي	التكافؤ	كاتيون
8	2	Ca	-	5	Ta	4	5	P
-	2	Sr	-	4	Ti	4	5	As
-	2	Ba	-	4	Zr	4	4	Si
-	1	Li	6	3	Al	4	4	Ge
6	1	Na	-	2	Be	3	3	B
9	1	K	-	2	Mg			
-	1	Rb	2	2	Zn			
-	1	Cs	-	2	Pb			
-	2	Be						
-	2	Mg						

3- المواد الخام:

المواد الخام في الطبيعة على هيئة رمال حجر جيري او دلوميت، ومصنعة على هيئة كربونات الصوديوم تعرف "صوداش" وتدخل في الصناعة على هيئة (زجاج جير الصوديوم) Sodium - Lim – Silica Glass فالمواد الاساسية هي الرمل والحجر الجيري والكاربونات الصوديوم، وهناك مواد

ثانوية أخرى لازمة لإكساب الزجاج خواص معينة مثل: مواد مختزلة – مواد مؤكسدة – مواد مزيلة للألوان.

الجدول 3-2 المواصفات البريطانية B.S

نوع الزجاج	سيليكا لا تقل عن	Fe_2O_3 لا يزيد عن	TiO_2 لا تزيد عن
العدسات	%99	%0.008	%0.03
الادوات المنزلية	%99	%0.02	%0.05
الاجهزة	%98.5	%0.04	%0.10

الجدول 3-3 المواصفات الهندسية للزجاج

	زجاج درجة خاصة	زجاج درجة اولى	زجاج درجة ثانية	زجاج درجة ثالثة
SiO_2 لا تقل عن	%99	%98	%97.5	%97
Fe_2O_3 لا يزيد عن	%0.02	%0.04	%0.07	%0.12

3-2-1 خصائص خامات الزجاج:

1- الرمل (السيلكا او ثنائي اوكسيد السيلكون):-

يعد المادة الاساس في صناعة الزجاج تدخل في تركيب خلطة الزجاج بنسبة تتراوح بين 75-65% وهو منتشر في الطبيعة انتشاراً كبيراً ولا يتأثر بالماء والاحماض ما عدا حامض الهيدروفلوريك.

يعمل الرمل على زيادة لزوجة السائل المنصهر ويساعد على انخفاض معامل التمدد الحراري. ولكي يكون الرمل صالحاً لصناعة الزجاج يجب أن تتوفر فيه بعض الشروط :

أن يكون الرمل خالياً من الشوائب كالحديد الذي يلون الزجاج باللون الاخضر أو الازرق، وهناك طريقة لتنقيته باستعمال مغناطيس كهربائي أو غسله بمحلول مخفف من حامض الكلور. والنوع الجيد ما كانت فيه نسبة الحديد أقل من 0.2% مع ملاحظة أن شوائب الرمل هي أوكسيد الحديد ، أوكسيد التيتانيوم ، الجير ، والالومينا ، وان حبيبات الرمل الصالحة يكون قطرها 0. 5 mm – 0.25mm.

التدرج الحبيبي الصالح لصناعة الزجاج يتراوح بين (600-150 µm) وان الرمل الخشن يصعب صهره بينما استعمال الرمل الناعم يزيد من احتمالات وجود شوائب الحديد وأيضاً يعود الى تكوين فقاعات هوائية .

2- الكوارتز:-

يتكون الكوارتز اساساً كمعدن أساس في الصخور النارية وله وزن نوعي يساوي 2.65 يوجد في الطبيعة على هيئة احجار او صخور صلبة وليس به شوائب في الغالب ونظراً لصلابته يصعب طحنه. ولذلك يكسر ثم يرش بالماء حتى يتفتت ويسهل بعد ذلك طحنه والكوارتز لا يتأثر بالماء ولا الاحماض عدا حامض الفلور. وعند تسخينه في درجة حرارة $1725\ ^oC$ ينصهر الى نوعين من الزجاج، يمكن تبريده بدون حدوث تبلور يسمى زجاج الكوارتز وهناك عدة انواع من الكوارتز ومن انقاها البلور الصخري الذي يستعمل في صناعة المجوهرات والاجهزة البصرية ، كما ان هناك الكوارتز الحديدي وهو بني او محمر اللون نتيجة لشوائب الحديد .

عموماً نستعمل العينات الشفافة والملونة والمعتمة في صناعة الزجاج ورمال الكوارتز البيضاء خالية من الحديد تستعمل في صناعة الخزف والزجاج .

3- اوكسيد البورون (B_2O_3) :يعتبر أوكسيد البورون (B_2O_3) من المواد المكونة للزجاج:

وهو يعمل كمادة صاهرة عند إضافته إلى أوكسيد السيلكون (SiO_2) ويتميز عن مواد الصهارة الأخرى (أكاسيد المجموعة الأولى والثانية في الجدول الدوري) في أنه لا يتسبب في زيادة معامل التمدد الحراري لزجاج السيلكا كما تفعل تلك المواد. أما إذا ارتفعت نسبة أوكسيد البورون بدرجة كبيرة، فإن المقاومة الكيميائية تصبح هي المشكلة في الزجاج الناتج. ويؤدي الانخفاض في معامل التمدد الحراري لزجاج البوروسيلكات ذي المحتوى المنخفض من المواد القلوية إلى مقاومة الزجاج للصدمات الحرارية مما يجعله مفيداً في تصنيع الأدوات المعملية وأواني الطهي وزجاج لحام الموليبدنوم ومرايا التلسكوبات.

4- اوكسيد الفسفور P_2O_5.

5- اوكسيد الصوديوم Na_2O: مصدره كاربونات الصوديوم (صوداش او رماد الصوديوم).

6- اوكسيد الكالسيوم CaO: مصدره كاربونات البوتاسيوم.

7- اوكسيد الرصاص PbO : مصدره (اوكسيد الرصاص الثلاثي) Pb_3O_4:-

يسبب اوكسيد الرصاص صعوبات في خلطة الزجاج إذ انه يميل للاختزال والتحول الى معدن الرصاص الذي يلون الزجاج بلون اسود ولذلك لابد من إضافة مواد مؤكسدة مثل نترات الصوديوم او البوتاسيوم.

كل أنواع الزجاج المستعمل الاجهزة الضوئية يحتوي على اوكسيد رصاص بنسبة عالية قد تصل احياناً الى 40% من تركيب الزجاج، كما يلاحظ ان الزجاج الذي توجد به نسبة عالية من اوكسيد الرصاص سريع التأثر ببخار الماء او بأبخرة الاحماض.

الجدول 3-4 يوضح بعض خواص المواد المستعملة في صناعة الزجاج.

المادة	الصيغة الكيمياوية	نقطة الانصهار	درجة حرارة التحلل/C°	الاوكسيد المتحرر	الكسر
الرمل	SiO_2	1725		SiO_2	1.000
حجر الكلس	$CaCO_3$		800	CaO	0.560
الدولوميت	$CaCO_3$		750	CaO	0.304
كاربونات المغنيسيوم	$MgCO_3$			MgO	0.216
الالومينا	Al_2O_3	2220		Al_2O_3	0.180
رماد الصودا	Na_2CO_3	851		Na_2O	0.680
نترات الصوديوم	$NaNO_3$	307	380	Na_2O	0.585
كبريتات الصوديوم	Na_2SO_4	884		Na_2O	0.365
كاربونات البوتاسيوم	K_2CO_3	891		K_2O	0.437
كاربونات الباريوم	$BaCO_3$		145	BaO	0.163

3-2-2 المواد المضافة:-

يتكون الزجاج من خلطة اكاسيد حامضية مثل الرمل، اوكسيد البورون وخامس اوكسيد الفسفور مع الاكاسيد القاعدية مثل اوكسيد الصوديوم، اوكسيد البوتاسيوم، اوكسيد الكالسيوم ..... الخ.

كل اوكسيد مع الاكاسيد القاعدية او الحامضية له دور خاص في تكوين الزجاج، بجانب ذلك هناك مواد تضاف الى خلطة الزجاج لتكسبه خواص معينة مثل كسر الزجاج يضاف لأسباب اقتصادية،

ويشترط ان يكون الكسر من نفس تركيب الخلطة المضاف اليها للمساعدة على تجانس الزجاج الناتج وعلى ازالة عيوب الخيوط والتموجات.

3-2-3 عوامل اخرى مؤثرة في خلطة الزجاج:

1- عوامل الصهر:-

مثل نترات الصوديوم، نترات البوتاسيوم، كبريتات المغنيسيوم .

2- عوامل مؤكسدة:-

تحتوي على اوكسيد باريوم، نترات صوديوم، نترات بوتاسيوم، ثاني اوكسيد المنغنيز.

3- عوامل مختزلة :-

تحتوي على اوكسيد القصدير، اوكسيد المنغنيز متحداً مع اوكسيد الانتيمون.

4- عوامل تنقية :-

مثل اوكسيد الزرنيخ، اوكسيد الانتيمون.

5- عوامل ترويق او إزالة اللون:-

مثل اوكسيد الزرنيخ، اوكسيد الانتيمون، اوكسيد المنغنيز، اوكسيد السيلينيوم، اوكسيد الكوبلت.

3-2-4 الزجاج الملون:-

شكل 3-3 نماذج من الزجاج الملون

يضاف الى خلطة الزجاج الشفاف احد الاكاسيد الملونة قبل الصهر بنسب مختلفة حسب اللون المطلوب وفي بعض الاحيان يضاف اكثر من اوكسيد وفقاً لدرجة وتركيز اللون واغلب الاكاسيد الملونة تعطي الواناً ثابتة محدودة مهما يكن تركيب الخلطة الزجاجية، شكل(3-3)، غير ان هناك عاملاً مهما في اختلاف اللون وهو نسبة ونوع المواد المؤكسدة او المواد المختزلة الموجودة في الخلطة.

فعلى سبيل المثال اوكسيد النحاس الاحمر يعطي اللون الاحمر اذا كانت الخلطة تحتوي مواد مؤكسدة، ونفس الاوكسيد يعطي اللون الاخضر والازرق اذا كانت الخلطة تحتوي على مواد مختزلة.

لقد شاع استعمال الزجاج الملون لأغراض الديكور لفترة طويلة من الزمن ولا زال استعماله مستمرا لحد الان ولكن وفي الوقت الحاضر شاع استعمال الزجاج الملون الشفاف للأغراض العلمية والتكنلوجية وعلى هيئة مئات الالوان ويتم اظهار اللون على الزجاج باستعمال احد الطرق الاتية:

1- استعمال الاكاسيد المعدنية إذ يتم اظهار اللون المطلوب على الزجاج بوساطة اختيار الايون المعدني المناسب والذي يغير محيط جزيئات السيلكا الطبيعية لكي تؤدي الى امتصاص بعض الاطوال الموجية (الترددات المرئية) وانعكاس الجزء الثاني من الاطوال الموجية والتي تعطي للزجاج اللون المطلوب ومن الاكاسيد المعدنية المستعملة لتلوين الزجاج اكاسيد العناصر الانتقالية وخاصة عناصر المجموعة الاولى وتشمل اكاسيد النحاس والنيكل والكوبلت والكروم والمنغنيز والفناديوم والتيتانيوم.
2- التغير الحاصل في اعداد تأكسد الايونات المعدنية نتيجة تأكسدها او اختزالها والتي تقوم بتغير الصيغة التركيبية للزجاج.
3- اظهار اللون بإضافة جزيئات (اكاسيد معدنية) كبيرة وملونة بذاتها الى الزجاج عديم اللون ومن امثلتها السلينيوم الاحمر (SeO_2) ويستعمل في اعمال الاعلانات الضوئية.

واللون الحقيقي للزجاج الناتج من عامل التلوين يعتمد على التركيب الكيمياوي للزجاج وظروف الصهر في الفرن.

تستعمل مواد عديدة في تلوين الزجاج ومن العوامل الشائعة في تلوين الزجاج يمكن توضيحها في الجدول الاتي:

عامل التلوين	اللون (ظروف الاكسدة)	الناتج (ظروف الاختزال)
اوكسيد الكوبلت	بنفسجي- ازرق	بنفسجي ازرق
اوكسيد الكروم	اصفر- اخضر	اخضر شفاف
اوكسيد الحديد	اصفر- اخضر	ازرق-اخضر
ثاني اوكسيد المنغنيز	ارجواني غامق	بلا
اوكسيد النيكل	بنفسجي- قهوائي	بلا
سيلينيوم	زائل	احمر- وردي
سيلينيوم - كادميوم	بلا	احمر قاني (بعد اعادة التسخين)
الكبريت	بلا	اصفر- عنبري
اليورانيوم	اصفر مع اخضر مشع	اخضر مشع

3-3 خلط المواد الاولية:

مثال 1 : ما الخلطة المتوقعة من الزجاج التجاري ؟

الجواب: الجدول ادناه يبين الخلطة المتوقعة من الزجاج التجاري، اوكسيد السيلكون ربما يكون على شكل كوارتز او رمال ففي الحالة الاولى يحتاج الخام الى كسر وطحن، اما في الحالة الثانية فانه يحتاج الى غسيل وتقنية وغربلة، ولإنتاج الزجاج القياسي تستعمل الرمال ذات الحجم الحبيبي المتدرج من (0.6–0.2 mm) .

هذا بجانب ان تكون الرمال خالية بقدر الامكان من الشوائب وبالذات المواد الملونة مثل اوكسيد الحديد والكروم. تدخل اكاسيد الكالسيوم والمغنيسيوم في الخلطة على هيئة حجر جيري ودولوميت على شرط ان يكون محتوى اوكسيد الحديد اقل ما يمكن .

	زجاج النوافذ	زجاج القوارير
السيلكا	72.1	72.5
الالومينا	1.1	1.9
اوكسيد الحديديك	0.2	0.1
اوكسيد الكالسيوم	10.2	9.8
اوكسيد المغنيسيوم	2.6	0.1
اوكسيد الباريوم	-	0.7
اوكسيد البوتاسيوم	-	0.8
اوكسيد الصوديوم	13.6	13.7

خامات الزجاج تعد مصدراً للأكاسيد حسب المعادلات الاتية:

1- كاربونات الصوديوم:

$$Na_2CO_3(s) \rightarrow Na_2O(s) + CO_2(g)$$

2- كاربونات البوتاسيوم:

$$K_2CO_3(s) \rightarrow K_2O(s) + CO_2(g)$$

3- كاربونات الباريوم:

$$BaCO_3(s) \rightarrow BaO(s) + CO_2(g)$$

4- رابع اوكسيد الرصاص الاحمر:

$$2Pb_3O_4(s) \rightarrow 6PbO(s) + O_2(g)$$

5- نترات البوتاسيوم:

$$4KNO_3\ (s) \rightarrow 2K_2O\ (s) + 2N_2\ (g) + 5O_2\ (g)$$

المثال التالي يوضح طريقة حساب الخلطات بالتفصيل:

مثال 2: خلطة لتكوين زجاج مكونة من 100 kg رمل، 9 kg كاربونات الصوديوم، 29 kg كاربونات البوتاسيوم، 9 kg كاربونات الباريوم، 34 kg رصاص احمر، 4 kg نترات البوتاسيوم، احسب النسبة المئوية لخلطة الزجاج المتكون.

الجواب :- **الوزن الجزيئي** $\frac{g}{mole}$

Na_2CO_3 "كاربونات الصوديوم " 106 ← Na_2O "62" $= \frac{62}{106} = 0.585$

K_2CO_3 " كاربونات البوتاسيوم " 138 ← K_2O "94" $= \frac{94}{138} = 0.681$

$BaCO_3$ " كاربونات الباريوم " 197 ← BaO "153" $= \frac{153}{197} = 0.776$

Pb_3O_4 " رصاص احمر " 685 ← $3PbO$ "3 ×223" $= \frac{669}{685} = 0.977$

KNO_3 "نترات البوتاسيوم " 101 ← $2K_2O$ "2 ×94" $= \frac{94}{202} = 0.465$

خام الخلطة	المعامل	اوكسيد الخلطة	النسبة المئوية%
100 kg رمل	1	100	59.85
9 kg Na_2CO_3	0.585	5.265	3.15
29 kg K_2CO_3	0.681	19.75	11.82
9 kg $BaCO_3$	0.776	6.984	4.18
34 kg Pb_3O_4	0.977	33.218	19.88
4 kg KNO_3	0.465	1.86	1.11

المجموع= 167.077

3-3-1 خلطة نموذجية لزجاج الاواني:

رمل (SiO_2) 1000 جزء، صوداش (Na_2CO_3) 342 جزء، حجر جيري ($CaCO_3$) 262 جزء، دولوميت 17 جزء، نترات الصوديوم ($NaNO_3$) 5 جزء، اوكسيد الزرنيخ (As_2O_3) 0.5 جزء، اوكسيد المنغنيز (MnO) 0.160 جزء، اوكسيد الكوبالت (CoO) 0.015 جزء، كسر زجاج 150 جزء.

تضاف نسبة قليلة من الماء الى الخلطة حتى تمنع انفصال الخلطة من بعضها خلال مرورها في السير والناقلة وايضاً تمنع عملية الغبار.

ولصناعة الزجاج تستخرج هذه الخامة بطريقة انتقائية وتجهز بعمليات الكسر والطحن الى احجام تتراوح ما بين (0.1 – 0.6 mm) للزجاج المسطح ومن (1 – 3 mm) لزجاج الاواني.

كاربونات الصوديوم : تشترى جاهزة ومطحونة بحجم حبيبي يتراوح ما بين (0.1 mm – 1).

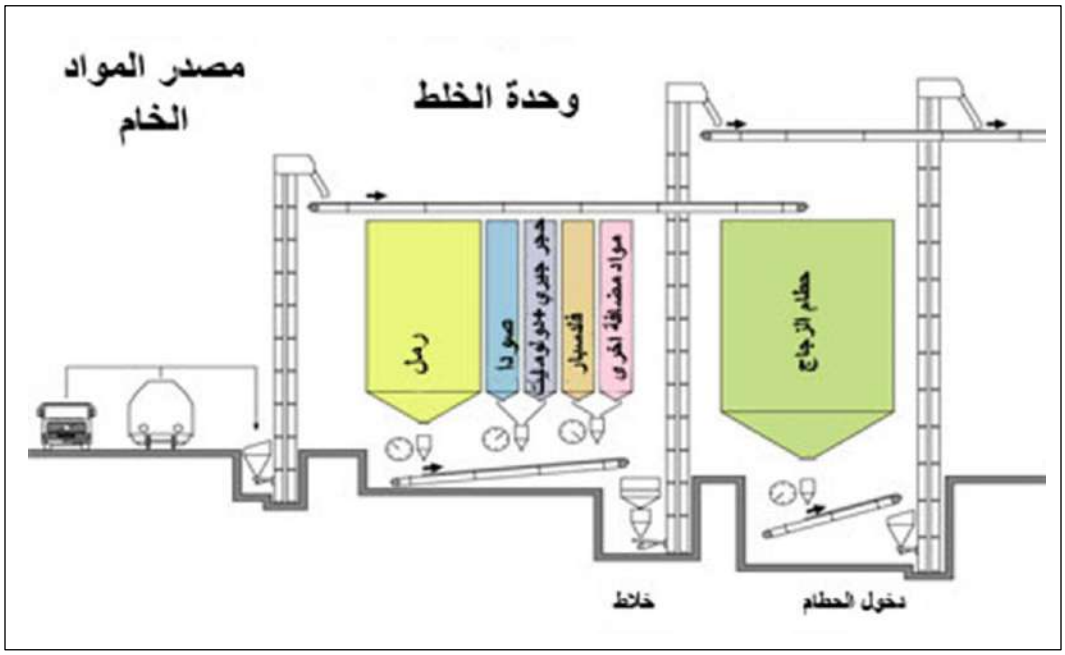
نترات الصوديوم : تضيف صوديوم للزجاج هذا بجانب عمله كعامل مؤكسد عندما يتحلل.

اوكسيد الزرنيخ : يستعمل كعامل تنقية وكبريتات المنغنيز تستعمل كمزيل للألوان، اما الزجاج المكسور فقد يصل في الخلطة في بعض الاحيان 40% ويؤدي الى وفر في الخامات والطاقة، ويسرع في عملية الصهر وتجانس المنصهر .

حسابات الخلطة لأي نوع من الزجاج تتم على اساس التحليل الدوري للمواد الخام، وعلى اساس تصحيح لمحتوى الرطوبة، وعلى اساس فقد المواد الطيارة، وبعد ذلك توزن المواد وذلك لتفادي اختلاف التركيب لكل شحنة في الفرن.

تجهز الخلطة في عنابر الخلطات التي تختلف في تجهيزاتها وفقاً لحجم المصنع وانواع الزجاج المنتج، ففي المصانع الصغيرة تستعمل اجهزة بسيطة كما يستعمل نقل الشحنة اليدوي في عملية المناولة، اما في المصانع الكبيرة فتستعمل عنابر الخلطات الاوتوماتيكية حيث تخزن المواد في صوامع تفريغ ومنها توزن المواد اوتوماتيكياً، وتنقل بواسطة النواقل الى خلاطة ميكانيكية مغلقة ومنها اما الى المخازن او مباشرة الى قادوس تغذية ميكانيكي كما موضح بالشكل (3-4). يجب تصميم نقل الخلطة بحيث يتم تفادي فصل المواد نتيجة الاهتزازات ، ويتم ذلك بترطيب الرمل بنسبة (3-4%) من الماء، وقد يفيد

هذا ايضاً في ازاحة الغبار من عناصر الخلطة الناعمة اثناء ادخلها الفرن، ومن افضل الطرق لمنع فصل المواد طريقة تكوير الخلطة الى افران ذات السعة الكبيرة. يتم تغذية الخلطة بمكابس مختلفة الاشكال على ان توزع الشحنة داخل الفرن ويتم التحكم في الشحن اوتوماتيكياً بالتحكم في مستوى السطح.



شكل 3-4 مراحل تهيئة وخزن خامات تصنيع الزجاج

3-4 صهر المواد الاولية:

تحدث عملية الصهر عادة بين مدى حراري يتراوح ما بين (1400 – 1600 ºC)، شكل (3-5) وتشتمل على تفاعلات عديدة بين مكونات الخلطة والطريقة النموذجية لتتبع التفاعلات ويمكن توضيحها بالنسبة لمنظومة سيلكا-حجر جيري–كاربونات الصوديوم ($SiO_2 – Na_2CO_3 - CaCO_3$).

يعد صهر الزجاج من اهم العمليات الصناعية في صناعة الزجاج اذ تتطلب كمية هائلة من الحرارة، (80%) من الحرارة الكلية تستهلك في الصهر ، تحتوي عملية الصهر على العمليات التالية التي تحدث اما بالتوازي او التوالي :

1- تفاعلات بين مكونات الخلطة الخام .

2- ذوبان المواد الصلبة في المنصهر الاولي .

3- خروج الغازات من المنصهر (عملية تنقية).

4- التجانس الكيميائي للمنصهر.

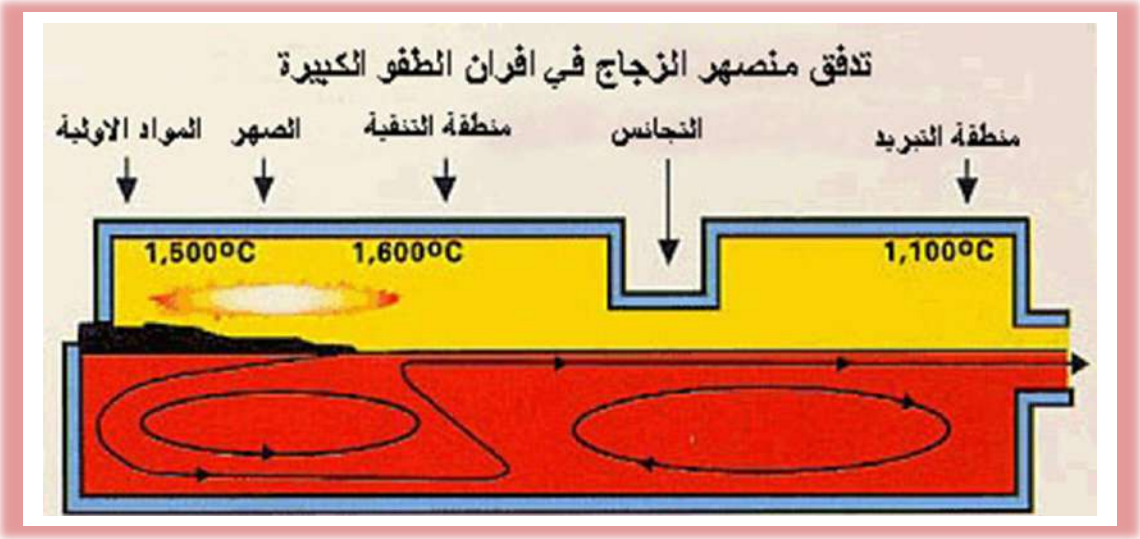
5- كل هذه العمليات مرتكزة على فكرة النقل الحراري اما التفاعلات غير المرغوب فيها فانها تشتمل تآكل الحراريات وانجاز المواد الطيارة .

تقنياً تنقسم عملية الصهر الى ثلاث مراحل، لاحظ الشكل (3-5):

1-الصهر الحقيقي: وهي المرحلة الاولى من عملية الصهر التي تنتهي باختفاء بقايا المواد الصلبة وتشمل على التفاعلات بين مكونات الخلطة وذوبان المواد الصلبة.

2- التنقية والتجانس: وهي المرحلة الثانية وتنتهي بتكوين منصهر زجاجي نقي ومتجانس .

3- التكثيف الحراري: وهي مرحلة تبريد الزجاج حيث ان درجة الحرارة تمكن من اجراء التشكيل.



شكل 3-5 مرحل صهر الزجاج

من المعروف ان السيلكا تضاف على شكل رمال كوارتز خشنة نسبياً وعند تسخينها تحدث الانقلابات وليس لها اثر كبير في عملية الصهر. والسيلكا ليست مادة متطايرة بل تنصهر فقط عند درجة حرارة 1725 ºC. اما كاربونات الكالسيوم فتبدأ في التحلل عند درجة حرارة (600 ºC) كما يأتي:

$$CaCO_3 \longrightarrow CaO + CO_2$$

ويصل ضغط التحلل الى مستوى الضغط الجوي عند درجة حرارة (898 ºC) وتتوقف.

تعتمد هذه الدرجة الى حد كبير على الحجم الحبيبي اما كاربونات الصوديوم فأنها تتغير، بدون تحلل عند درجة حرارة (852 ºC) وفي اثناء صهر الزجاج فان كل الصودا تقريباً تتحلل بالتفاعل الكيميائي، التفاعلات التالية تأخذ مجراها في مخاليط ثنائية التكوين مثل:-

1- تفاعل السيلكا مع كاربونات الصوديوم:-

يبدأ التفاعل بين المكونين عند درجة حرارة (630 ºC) (تفاعل في الحالة الصلبة)، ولقد وجد ان التفاعل ما بين درجة حرارة (630 ºC – 780) وبنسبة 1:4 من المكونين يجري كالآتي:

$$Na_2CO_3 + SiO_2 \longrightarrow Na_2SiO_3 + CO_2$$

يمكن توضيح الية التفاعل بالاتي:

حبيبات السيلكا الخشنة نسبياً محاطة بالحبيبات الناعمة لكاربونات الصوديوم، التفاعل السطحي يطلق ثنائي اوكسيد الكاربون، وينتج عن التفاعل طبقة رقيقة من سيلكات الصوديوم (تنصهر عند درجة حرارة 1088 ºC) التي تفصل المكونين، ويستقر التفاعل بانتشار ايونات الصوديوم والاوكسجين، وتزداد سرعة التفاعل مع درجة الحرارة .

تزداد سرعة التفاعل ايضاً عند ظهور المنصهر الاول وهذا يحدث عند درجة حرارة (790 ºC) فالأثر الاساس للمنصهر هو تحسين مساحة التماس لتفاعل المكونات الناتجة من التفاعل (سيلكات صوديوم) الذي ينصهر عند درجة حرارة (1088 ºC) والمتبقي من السيلكا يبدأ بالذوبان في المنصهر خلال اطلاق المتبقي من ثنائي اوكسيد الكاربون.

2- تفاعل السيليكا مع كاربونات الكالسيوم :-

ميكانيكية التفاعل هي عملية الانتشار السابقة نفسها وبغض النظر عن النسبة الكتلية للمكونين في الخليط، وان الناتج الاولي هو ثنائي سيلكات الكالسيوم ($2CaO.SiO_2$) عند درجات الحرارة المنخفضة ثم يتحول في مراحل متأخرة الى مركبات غنية بالسيلكا. يبدأ التفاعل بين السيلكا وكاربونات الكالسيوم عند درجة حرارة (600 ºC) ويمكن تتبع هذا التفاعل بتعيين الفقد في وزن ثنائي اوكسيد الكاربون.

تفاعل كاربونات الصوديوم مع كاربونات الكالسيوم يمكن ان يحصل عند درجة حرارة اقل من (600 ºC) ويكون الناتج مركباً ثنائياً من كاربونات الصوديوم والكالسيوم، وله نقطة انصهار تعادل (813 ºC) أي اقل من تلك لكاربونات الصوديوم (852 ºC).

التفاعلات في المرحل الاولية المنظومة $NaCO_3.CaCO_3 – SiO_2$ يتشابه في الاساس مع التفاعلات السابقة، لأنه من الصعوبة أن تتلاقى ثلاثة مكونات في نقطة التماس واحدة.

3- تفاعلات كبريتات الصوديوم:-

تنصهر كبريتات الصوديوم عند درجة حرارة (884 ºC) ولاتتحلل في حالتها النقية قبل (1500 ºC) تبدأ التفاعل مع السيلكا عند درجة حرارة (1200 ºC) فما فوق. هذا التفاعل أبطأ من

التفاعل مع كاربونات الصوديوم، وبما ان درجة ذوبان كبريتات الصوديوم في المنصهر ضعيفة وكثافتها أقل، فأنها تنفصل بسهولة وتتجه الى تكوين طبقة على سطح المنصهر، وهذه الظاهرة ربما تكون سبباً لإشكالات خطيرة في صهر الزجاج ومن الصعوبة التخلص منها، يمكن منع عملية الانفصال التي غالباً ما تحدث عند وجود كميات من الكبريتات تفوق درجة ذوبانها في الزجاج المصهور بتسريع التفكيك او التحلل وذلك بتحويلها الى درجات منخفضة، ويتم هذا بخلق جو اختزال داخل فرن الصهر او بإضافة مادة مختزلة مثل الكاربون، يبدأ تفاعل الكبريتات مع الكاربون عند درجة حرارة (600 ^{o}C) ويؤدي الى وجود نواتج وسطية متعددة .

التفاعل مع السيلكا يمكن توضيحه بالمعادلة التالية :

$$nSiO_2 + 2Na_2SO_4 + C \xrightarrow{1700\ ^{o}C} 2Na_2O.nSiO_2 + 2SO_2 + CO_2$$

وهذه المركبات لا تتكون بشكل ظاهر في هذه المنظومة الا في درجات الحرارة العالية.

تنتهي مرحلة التفاعل المشتمل على اطوار صلبة للأنواع العادية من الزجاج عند درجة حرارة تتراوح ما بين (900 - 1100 ^{o}C) والمنظومة الناتجة تكون غير متجانسة وتحتوي على بقايا حبيبات سيلكا، التي تتحول الى منصهر بذوبانها في المراحل الاخرى، ويكون الطور الناشئ بعد ذلك هو المنصهر المحتوي على كميات كبيرة من الفقاعات الغازية.

من تتبع ميكانيكية التفاعل يتضح ان التفاعلات بين خلطات الزجاج يمكن تسريعها بزيادة نقاط التماس بين المكونات، وهذا يعني بالضرورة زيادة نعومة الحبيبات، وقد لا يكون هذا الحل الامثل، لان الحبيبات الفائقة النعومة ربما تبطئ عملية التنقية، أي أن الزمن الكلي للصهر يزداد وهذا يرجع الى تكوين فقاعات صغيرة من ثنائي اوكسيد الكاربون، وعند ازدياد لزوجة المنصهر تحدّ من هروب هذه الفقاعات الغازية خارج المنصهر. لذا فان المواد الثانوية المضافة كالتنقيات والمزيلة للألوان والمؤكسدة والمختزلة تلعب دوراً كبيراً في عملية الصهر.

اهم المواد في هذه المجموعة هي كبريتات الصوديوم التي تزيد من سرعة الصهر وسرعة التنقية، غير انها من جانب اخر لها حساسية فائقة لتفاعلات الاكسدة والاختزال، مما يسبب مشاكل انتاجية متكررة .

الاختزال الزائد يؤدي الى وجود مركبات كبريتية التي تبقى ذائبة في منصهر الزجاج وتكتسب اللون البني الغامق، وفي الوقت نفسه تقل فاعلية الكبريتات كعامل تنقية.

يمكن التحكم في تفكك الكبريتات باختبار اجواء اكسدة، اختزال مناسبة ولابد من تفكك الكبريتات عند درجة تنقية الزجاج وبالتالي الاستفادة القصوى من خاصيته كمادة منقية. بعض الكبريتات تذوب في المنصهر، طالما انها تضاف بكميات صغيرة ويتم التحكم في فرن الصهر فان خطورة الانفصال تقل بدرجة كبيرة.

3-4-1 ذوبان المواد الصلبة في المنصهر:-

المركبات الاخرى تذوب في المنصهر وتؤدي عدة اغراض تتحكم في مجرى التفاعل عند درجة حرارة اعلى من (1100 ºC) والسيلكا في هيئة كوارتز هي المتبقي الاخير من المواد الصلبة، وقد اكدت الابحاث ان ذوبان حبيبات الكوارتز تأخذ حوالي (90%) من الزمن الكلي لذوبان المواد الصلبة على الرغم من حوالي (80%) من السيلكا قد تم تفاعلها في المرحلة السابقة ، وهذا البطء في الذوبان يعزى الى زيادة لزوجة المنصهر والى بطء حركة الانتشار. والمحرك الرئيسي للعملية وهو تدرج تركيز السيلكا بين سطح الحبيبة والمنصهر الذي يقل في المراحل الاخيرة من الذوبان، وبجانب السيلكا هناك بعض المواد الحرارية القابلة للذوبان مثل الالومينا " Al_2O_3 " ، الزركونيا " ZrO_2 " واوكسيد الكروم " Cr_2O_3 " ولكن على كل حال فان ذوبان السيلكا هو العامل المؤثر في الزمن المستهلك للصهر في اغلب انواع الزجاج، وسرعة الذوبان يتحكم فيها عامل الانتشار بين الحبيبة والمنصهر.

تعتمد سرعة ذوبان السيلكا على العوامل الاتية :-

- معامل انتشار السيلكا في المنصهر.
- التدرج في التركيز عند الفاصل بين السيلكا والمنصهر او الفرق في تركيز السيلكا في المنصهر عند الحد الفاصل.
- مساحة سطح السيلكا الملامس للمنصهر.

يمكن التأثير على سرعة الصهر بدرجة محدودة بإضافة بعض المكونات الثانوية مثل مسرعات الصهر، ويرتكز عمل هذه المسرعات على تخفيض درجة حرارة التفاعل وتخفيض لزوجة المنصهر.

2-4-3 التنقية وذوبان الغازات:-

بعد اكتمال عملية ذوبان المواد الصلبة يكون المنصهر محملاً بكميات كبيرة من الغازات التي تصعد نحو السطح للخروج الى الفضاء، وهذه المرحلة من الصهر تعرف بمرحلة التنقية، والفقاعات تحتوي على الغازات الناتجة من تفاعلات التحلل وبقايا الهواء المحصورة بين الخلطة والغازات مع اضافة مواد تنقية مناسبة ، كما مبين ادناه:

$As_2O_3 + NaNO_3$

$Sb_2O_3 + NaNO_3$

$NaSO_4$ كبريتات الصوديوم

$NaCl$ كلوريد الصوديوم

من الملاحظات العملية تم التوصل الى ان :-

1- الفقاعات ذات النطاق المتقارب تميل الى الاندماج في بعضها البعض اثناء المراحل الاولى للتنقية.

2- احجام الفقاعات في المنصهرات الخالية من عوامل التنقية تتصاعد (دون تغير) وتصل الى السطح عند درجة حرارة ثابتة.

3- احجام الفقاعات في المنصهرات التي تحتوي على عوامل تنقية تنمو عند درجات حرارة عالية نتيجة لدخول الغازات في الفقاعات من المنصهر الفائق التشبع .

من هذه الملاحظات وغيرها من الابحاث والدراسات يمكن ان نستنتج ان دور عامل التنقية يشتمل على:-

1. اطلاق نواتج تفاعلية غازية مثل الاوكسجين او اوكسجين + ثنائي اوكسيد الكبريت .
2. الفقاعات هي: ثنائي اوكسيد الكاربون، ثنائي اوكسيد الكبريت، اوكسجين، نيتروجين، بينما نجد بعض الغازات تذوب في المنصهر. ونظراً للارتفاع النسبي للزوجة المنصهر فان سرعة خروج او تصاعد الفقاعات الى السطح تبدو بطيئة ، ويمكن زيادة سرعتها برفع درجة الحرارة أو بإضافات قليلة من عوامل التنقية، مثل (0.5 – 0.3%) ثلاثي اوكسيد الزرنيخ (As_2O_3) او ثلاثي اوكسيد الانتيمون (Sb_2O_3) مع نترات قلوية لزجاج الكريستال او (1 – 0.7%) كبريتات الصوديوم (Na_2SO_4) لزجاج الاواني او الزجاج المسطح، (2 – 1.5%) كلوريد الصوديوم " NaCl " لزجاج البايركس، ودور النترات في العاملين الاولين " الانتيمون والزرنيخ " هو تكوين فقاعات مليئة بالأوكسجين واكسدة ثالث اوكسيد الزرنيخ والانتيمون وتحويلها الى مركبات خماسية .

يعبر عند درجة التنقية بالحجم النسبي من الفقاعات المتبقية بالمنصهر على اساس قياس الكثافة الكتلية او بايجاد عدد الفقاعات المتبقية في السنتيمتر المكعب من المنصهر.

3. ابخرة عالية الحرارة ويمكن كتابة المعادلات التالية :

$$As_2O_5 \longrightarrow As_2O_3 + O_2$$

$$Sb_2O_5 \longrightarrow Sb_2O_3 + O_2$$

$$2Na_2SO_4 \longrightarrow 2Na_2O + 2SO_2 + O_2$$

فقاعات المنصهرات بدون مواد تنقية تحتوي في الغالب على ثنائي اوكسيد الكاربون، ووفقاً للفرضيات السابقة فان الاوكسجين او الاوكسجين + ثنائي اوكسيد الكبريت او الابخرة، يدخل في الفقاعات عند اضافة مواد التنقية. وقد تم البرهان على انه عند اضافة المنقيات فان محتوى الاوكسجين يزداد داخل الفقاعة بينما يتناقص محتوى ثنائي اوكسيد الكاربون وان الزيادة في محتوى الاوكسجين تعادل سرعة النمو التي تم ملاحظتها في الجانب الاخر، عند انخفاض درجة الحرارة فان حجم الفقاعة في المنصهر الذي لا يحتوي على مواد تنقية تقل دون تغيير، بينما يتقلص الحجم للفقاعة في المنصهرات المحتوية على عوامل تنقية نتيجة لذوبان بعض الغازات، ولان التفاعلات المذكورة اعلاه تتم في الاتجاه العكسي عند انخفاض درجة الحرارة، ولذلك فان ذوبان الغازات في المنصهر تلعب الدور الاخر في عملية التنقية ، ووفقاً للاعتبارات المذكورة فان مواد التنقية المؤثرة هي الاكاسيد ذات التكافؤ المتعدد التي تتغير نسبها المؤكسدة او المختزلة تغيراً كبيراً مع تغير درجة الحرارة.

5-3 عملية التجانس:-

التجانس الكيميائي هو العملية التي يتم فيها توازن الفرق في التركيز في كل مواقع المنصهر ولكن نتيجة اللزوجة العالية للمنصهر، وتكون حالات عدم تجانس ثانوية اثناء الصهر اذ ان الوصول الى درجة التجانس الكامل تبقى مسألة تقريبية. ووفقاً للمعلومات المتوفرة فان نسبة فرق في التركيب تصل الى (0.05%) يمكن احتمالها في الزجاج المسطح. ودرجة التجانس التي يمكن الحصول عليها يتم تقديرها وفقاً للاختلافات في الكثافة.

ان استعمال ادوات التحريك او التقليب الميكانيكية هي احدى الطرق الخاصة لعملية التجانس المركزة. وقد استخدمت الطريقة في السابق في صناعة زجاج البصريات وفي الوقت الحاضر في افران الاحواض لإنتاج انواع اخرى من الزجاج.

يمكن ايضاً تطوير عملية التجانس بطريقة جذرية بإدخال الهواء المضغوط لتكوين فقاعات كبيرة للزجاج المصهور وبالاخص في افران زجاج الاواني .

وفي زجاج سيليكات البورون " البايركس " من (10–70 g) اوكسيد البورون، يتطلب التحكم في التطاير على مستوى الانتاج الضخم اجراءات معقدة مثل :

1- التخلص من غبار الخلطة خلال التغذية لان الجسيمات الناعمة من المكون الطيار " صودا " تتبخر بسرعة .
2- تجنب تعرض الخلطة لفترات طويلة من الحرارة العالية .
3- تبطئة او تخفيض انسياب الغازات من المنطقة القريبة من سطح المنصهر .

المواد الطيارة " التطاير " :-

تبخر المواد المتطايرة اثناء صهر الزجاج امر غير مرغوب فيه لأنه يقود الى التغير في التراكيب وبالأخص في السطح، ولذا فهي تعد من المصادر الكامنة لعدم التجانس .

تتفاعل الابخرة الصاعدة من الحراريات مما يؤدي الى تآكلها واذ لم يتم حجز هذه الابخرة بالتفاعلات او التكييف لان خروجها الى الفضاء يلوث الجو كما يكون مصدر خطر في حالات الابخرة السامة. من جانب آخر فان الابخرة المتبقية من نواتج التفاعلات تؤدي الى انسداد مولدات الحرارة وبالتالي تقلل من عمرها الافتراضي، والمواد الطيارة تشتمل على الاكاسيد القلوية , Na_2O , PbO, B_2O_3 , P_2O_5 " K_2O والمكونات الثانوية مثل اوكسيد الزرنيخ As_2O_3 ، واوكسيد الانتيمون Sb_2O_3 .

وكل هذه المواد تنتشر في هيئة جزيئات متطايرة، تبخر بعض هذه المكونات اثناء الصهر يؤدي الى تغير في المحتويات النهائية للزجاج ولذلك لابد من اخذها في الاعتبار عند حسابات الخلطة.

ففي زجاج الكرستال الرصاصي يقدر الفقد في المتر المربع لمساحة منصهر في الساعة ما بين (40–200 g) اوكسيد الرصاص، اما بالنسبة للزجاج التجاري " صودا، جير، سيليكا " فان الفقد يتراوح ما بين (1–10 g) اوكسيد الصوديوم.

6-3 ازالة الالوان:

اللون الاخضر يحدث دائماً نتيجة لوجود آثار اوكسيد الحديد في معظم الخامات الزجاجية او من خلط الخامات اثناء الخلط الميكانيكي او اثناء النقل او من الزجاج المكسور المضاف وقد يصل الاوكسيد في الخلطة في بعض الاحيان (1.5- 1%) وللتخلص من اللون الاخضر يستعان ببعض الاكاسيد كما يستدعي الامر وجود مادة مختزلة في الخلطة لإنتاج اللون المطلوب.

ويتم إزالة اللون بطريقتين :-

1- **طريقة الاكسدة:-** وهي اكسدة املاح الحديدوز وتحولها الى حديديك وبذلك يتحول اللون من الاخضر الى الاصفر الذي يكون اقل وضوحاً من اللون الاخضر، وذلك بإضافة نترات الصوديوم او نترات البوتاسيوم او ثنائي اوكسيد المنغنيز واوكسيد الزرنيخ .
2- **الطريقة الطبيعية :-** والمقصود بها ايجاد لون تكميلي لتعديل كمية الامتصاص الضوئي والتغلب على رؤية اللون الناتج من وجود اوكسيد الحديد بنسبة لا تزيد عن 0.06% لامتصاص جميع اشعة الطيف بدرجة متعادلة (تعادل اللون باستعمال اوكسيد الكوبلت واوكسيد السلينيوم معاً) ولا يمكن لاحدهما ان يتعادل مع اللون الاخضر اذ يسبب الاول نفاد اللون الازرق هذا بالإضافة الى وجود مادة مختزلة في الخلطة.

اسئلة الفصل الثالث

س1/ ما تأثير دخول ذرة الصوديوم في تركيب زجاج السيلكا ؟

س2/ ما دور الكايتونات الاحادية والثنائية التكافؤ في النسيج الشبكي للزجاج ؟

س3/ ما شروط الاكاسيد الاحادية والثنائية والثلاثية والرباعية والخماسية التكافؤ والتي يجب أن تحققها لكي تدخل في تكوين الزجاج ؟

س4/ ما تأثير أضافة أوكسيد البورون على مقاومة الصدمة الحرارية للزجاج ؟

س5/ ما أبرز المشاكل التي تظهر عند أضافة أوكسيد الرصاص الثلاثي Pb_3O_2 وكيف يمكن معالجتها ؟

س6/ أحسب النسب المئوية للأكاسيد المكونة لخلطة الزجاج :

Sand : 57 kg , Soda ash : 16 kg , Potash : 14.8 kg , Potassium nitrate : 14 kg , Litharge (PbO) : 31 kg .

الجواب/

(SiO_2 = 57 %, Na_2O = 3.51 %, K_2O= 6.83%, K_2O= 1.68 %, PbO=31%)

س7/ أحسب كمية الخامات الداخلة في خلطة الزجاج وبالكيلو غرام ، اذا كانت النسب المئوية للمواد الداخلة كما يلي: SiO_2 = %70, Na_2O =% 23, CaO=%5, Al_2O_3=%2

س8/ أحسب النسب المئوية الوزنية لمكونات الاكاسيد الداخلة في خلطة الزجاج التالية :

K_2CO_3=120 g , Limestone=80 g , Sand=400 g .

الجواب/ (K_2O=15.5% , CaO=8.5 % , SiO_2=76%)

س9/ أحسب النسب المئوية للأكاسيد المكونة للزجاج (Na_2O, B_2O_3, $2SiO_2$) ؟

س10/ ماهي ابرز العمليات التي تحدث أثناء صهر مكونات الزجاج؟

س11/ وضح بالمعادلات الكيمياوية التفاعلات الحاصلة بين السيلكا وكاربونات الكالسيوم خلال عملية صهر الزجاج؟

س12/ ما أسباب انفصال كبريتات الصوديوم عن منصهر الزجاج ؟ وكيف يمكن التغلب على هذه المشكلة .

س13/ ما ابرز الفقاعات الغازية المتكونة في منصهر الزجاج ؟ وما تأثير ارتفاع أو انخفاض لزوجة المنصهر على خروج الفقاعات الغازية من المنصهر ؟

س14/ ما الاجراءات المتبعة للحصول على افضل تجانس في زجاج الاواني, زجاج البصريات، زجاج البايركس.

س15/ ما الاثار التي تحدثها الابخرة المتطايرة أثناء عمليات صهر الزجاج في تجانس الزجاج وعلى معدات الافران وعلى البيئة ؟

س16/ ما اسباب ظهور اللون الاخضر في الزجاج وكيف يمكن ازالة هذا اللون ؟

س17/ أملأ الفراغات التالية:

1- ---------- يعد المادة الاساس في صناعة الزجاج حيث يدخل في تركيب خلطة الزجاج بنسبة تتراوح بين (65-75%).
2- اللون الاخضر يحدث دائماً نتيجة لوجود ---------- في الخامات الزجاجية.
3- تضاف نسبة قليلة من ---------- الى خلطة الزجاج حتى تمنع انفصال الخلطة مع بعضها وايضاً تمنع تطاير الغبار.
4- يميل أوكسيد الرصاص صعوبات في خلطة الزجاج اذ أنه يميل للأختزال والتحول الى معدن الرصاص الذي يلون الزجاج باللون ----------.
5- يتم تنقية الرمل المستعمل في صناعة الزجاج من الشوائب كالحديد بأستعمال ------- --------- و ----------.

الفصل الرابع

"افران صهر الزجاج"

أهداف الفصل الرابع:

من المتوقع ان يتعرف الطالب على :

1- انواع افران صهر الزجاج ومعداتها

2- مكونات افران الصهر

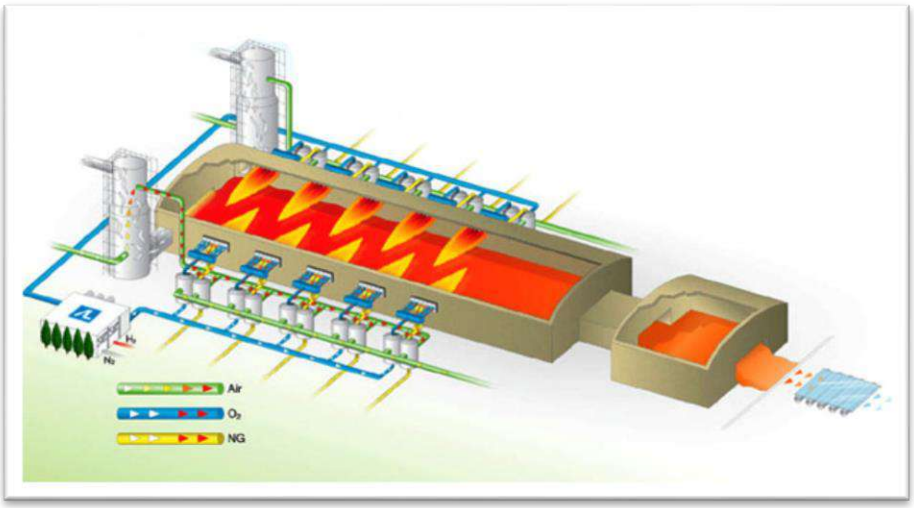
3- السيطرة على الأفران

محتويات الفصل الرابع

4-1 وصف الأفران

4-2 انواع الأفران

4-3 تشغيل افران صهر الزجاج والسيطرة عليها



1-4 وصف الأفران:

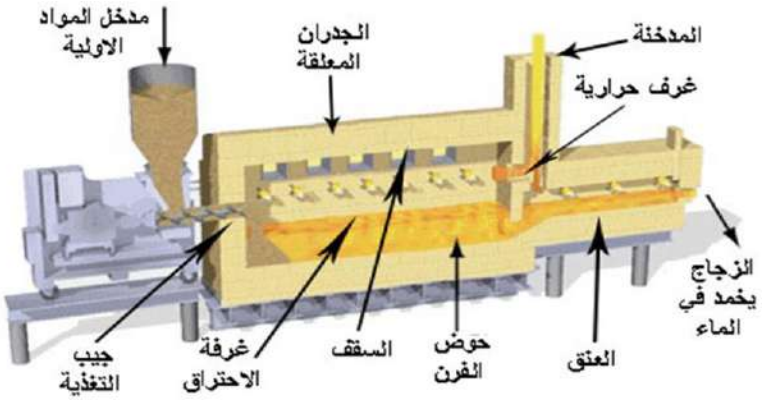
تختلف افران صهر الزجاج عن باقي الأفران فهي ذات سعات مختلف تتراوح من 100كغم \يوم بالنسبة للأفران البودقية الى 1000طن / يوم للأفران ذات السحب العالي وخاصة افران انتاج الزجاج المسطح العائم، عمليات صهر الزجاج تتم اما في افران ذات الصهر المستمر او في افران صغيرة ذات الخلطة الواحدة وهذا خاصة بالنسبة لإنتاج الزجاج الغالي الثمن والكرستال، الوقود تستعمل في افران صهر الزجاج يكون من مختلف الانواع حيث يستعمل النفط الأسود، الديزل، الغاز وفي بعض الدول يستعمل الكهرباء.

وتتكون هذه الأفران من الاجزاء الاساسية التالية: الشكل (1-4)

1- حوض الفرن: الذي يمثل الجزء الرئيس من الفرن اذ تضخ في مقدمته المواد الأولية ثم تنصهر وتنتقل الى منطقة العمل من خلال العنق.
2- العنق: ترتبط منطقة الصهر بمنطقة العمل عن طريق عنق وخاصة في احواض زجاج القناني والأواني المنزلية وظيفته الأساسية هو تخفيض درجات الحرارة العالية نسبيا بين هذه المناطق بالوقت نفسه يشكل فاصلاً طبيعياً بينهما فضلاً عن دوره الفعال في زيادة كفاءة التشغيل للفرن وتحسين نوعية الزجاج وزيادة طول عمر الفرن.
3- جيب التغذية: ويقصد به الجزء الذي يتم خلاله تغذية المواد الاولية الى داخل الفرن، وعند تصميم الأفران يؤخذ بنظر الاعتبار طريقة تغذية المواد فقد يستعمل جيب تغذية واحد (صغير) او عدد من جيوب التغذية الواسعة.
4- غرف الاحتراق: ان كمية الطاقة المجهزة لكل وحدة حجم من غرفة الاحتراق تتراوح ما بين 60-210 kW/m^3 , وعند تجهيز الطاقة يؤخذ بنظر الاعتبار حدود المحتوى الحراري في وحدة الكتلة للوقود وهواء الاحتراق.
5- الجدران المعلقة: تبنى الجدران المعلقة مباشرة على جدار الحوض فقط عندما تكون الأفران صغيرة او لأسباب خاصة والطريقة الاعتيادية لتنفيذ الجدران المعلقة هي ان تنصب فوق زوايا متصلة بالأعمدة الساندة للفرن لمنعها من الانحراف وغالبا ما يكون سمك الجدار 375 mm ويغلق من الخارج بعازل حراري لتقليل الفقدان في كمية الحرارة والإجهادات الحرارية.
6- السقف: وظيفته هي عمل غطاء لمناطق الصاهر والعمل والغرف الحرارية, ارتفاع السقف يحدد حجم غرفة الاحتراق ويصمم السقف على شكل اقواس دائرية.

7- الغرف الحرارية: وظيفتها هي استعمال الطاقة الحرارية للغازات الضائعة من اجل التسخين المسبق لهواء الاحتراق وتهيئة افضل انتقال حراري عن طريق شعلات بدرجات حرارة عالية اذ ان هذا يعطي تخفيضات كبيرة في كمية الطاقة المستهلكة للفرن.

8- المدخنة: اساس عملها هو سحب الغازات الناتجة عن الاحتراق عندما يكون هناك اختلاف في الضغط الجوي ما بين الضغط داخل قاعدة المدخنة والضغط الخارجي حيث تكون الغازات المحترقة في المدخنة اقل كثافة من الهواء الخارجي.



شكل 4-1 مكونات فرن صهر الزجاج الاساسية

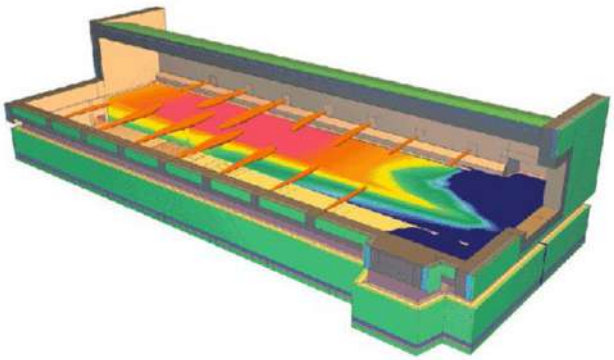
2-4 انواع الأفران

1-2-4 الأفران الحوضية لإنتاج القناني الزجاجية والأواني المنزلية :

يشكل انتاج القناني الزجاجية اكبر نسبة من الانتاج الكلي لصناعة الزجاج وتكون هذه الأفران اكثر اقتصادية باستعمال احواض ذات غرف حرارية مع عنق ومشاعل ذات نيران متقاطعة او مشاعل تعطي لهب بشكل حرف U. ويبين الشكل (4-2) فرن لإنتاج القناني ذات الشعلات المتقاطعة. تعتمد حاجة الفرن الخاص بإنتاج القناني من الطابوق الناري على ظروف التشغيل وبالدرجة الأولى تعتمد على كمية الزجاج المنتج خلال

فترة تشغيلية واحدة وكما هو مدرج ادناه :-

كورندم – زركون	0.5-1.5 kg /ton زجاج
سيلكا	0.5-1.5 kg /ton زجاج
مغناسيت وانواع متشابهة للغرف الحرارية	1.0-3.0 kg /ton زجاج
شاموت clay	0.5-1.0 kg /ton زجاج
حديد فولاذ لغرض اسناد الفرن	0.6-1.0 kg /ton زجاج



شكل 4-2 مخطط فرن حوضي ذات مشاعل متقابلة

4-2-2 الأفران الحوضية لإنتاج الزجاج الخاص:-

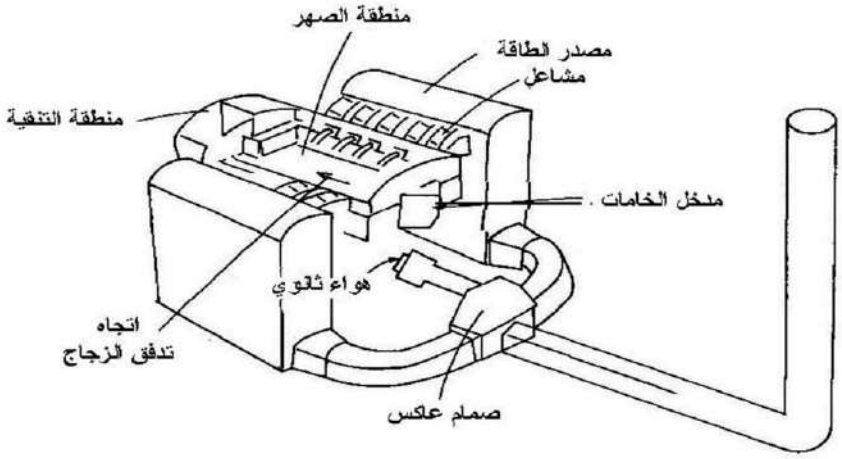
تختلف الأفران الحوضية لإنتاج الزجاج الخاص عن الأفران الحوضية الأخرى في حجمها وانشائها فضلاً عن النوعية ذات المواصفات العالية ويوضح الشكل (4-3) حوض تصنيع زجاج الأنابيب الذي يشابه في انشاءه حوض زجاج القناني .

الشكل 4-3 حوض فرن تصنيع الانابيب

ولتحقيق النوعية الجيدة للزجاج الخاص تنشأ الأفران مع مشاعل نفطية ذات نيران متقاطعة وغرف حرارية حيث ان الأحواض تستعمل بعرض 5.3 m فما فوق. وتتغير درجة حرارة التشغيل لهذه الأفران حسب تركيب الزجاج المنصهر فأحواض انتاج اجهزة القياس تصل درجة حرارة التشغيل لها عند السقف الى 1650 ^{o}C، ويوضح الشكل (4-4) انشاء احواض الزجاج البايركس اذ تفصل مناطق الصهر والتصفية عن طريق سد صغير وبسبب ارتفاع درجات الحرارة لمنطقة الصهر فأنها تسخن بصورة منفصلة عن منطقة التبريد، ويسخن هواء الاحتراق مسبقا بدرجات حرارة معينة عن طريق استعمال مبادل حراري حديدي صغير.

الشكل 4-4 افران تصنيع البايركس

الشكل (4-5) يوضح الفرن نوع منافذ التسخين الجانبية (Side Port Type Furnace) ويكون حجمه كبيراً (100-150) طن او اكثر ويستعمل لإنتاج الزجاج عالي الجودة من القناني والالواح الزجاجية.

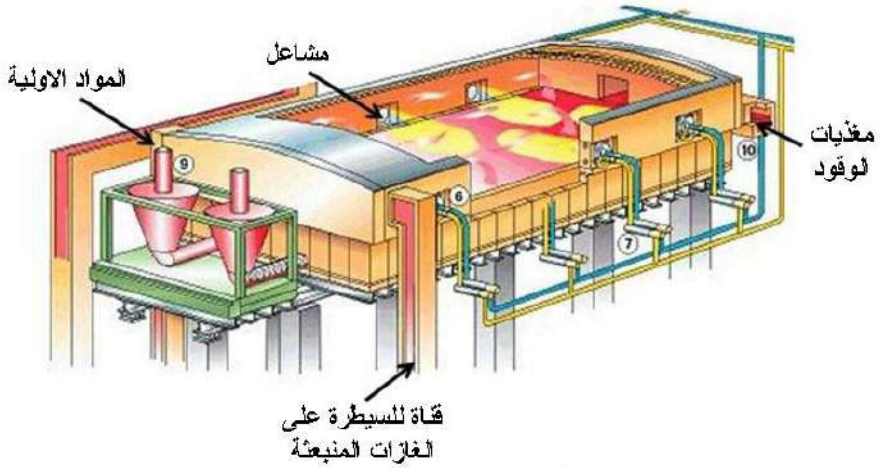


شكل 4-5 مخطط فرن المنافذ الجانبية

4-2-3 افران الصهر (U–Melter) :-

تم انشاء حوالي 150 فرن من هذا النوع في انحاء العالم اغلبيتها زجاج الصودا لايم لإنتاج القناني عدا عدد قليل منها لإنتاج الأواني المنزلية، هنالك ايضا افران عديدة لإنتاج الصوف الزجاجي واخرى لإنتاج الأنابيب الزجاجية وشاشات التلفزيون والمصابيح الكهربائية وسيلكات الصوديوم واخرى وعادة تكون هذه الأفران تكون طويلة وضيقة وبأبعاد مختلفة.

الأسس المعتمدة في افران (UM) هو نظام الاشتعال المباشر عن طريق مجموعة من المشاعل على جانبي الفرن تعمل بصورة مستمرة مستقبلا هواء الاحتراق الحار من المبادل الحرارية، تلغى فيها غرف التبادل الحراري وبهذا يقلل من كمية الطابوق الناري المطلوب لبناء الفرن الى الثلثين وبالنسبة نفسها تقريبا تقل الكلف اذ تلغى في الوقت نفسه كل الملحقات التابعة للغرف الحرارية (مجاري الهواء والدخان، نظام التبادل الآلي، بوابات التبديل والقطع والضغط، المدخنة وملحقاتها)، شكل (4-6).



شكل 4-6 تصميم فرن (U-Melter)

نظرا لأهمية انواع الطابوق الناري والحاجة المستمرة اليه خلال الصيانة واعادة بناء الفرن وعدم توافره في بلدنا العزيز فضلاً عن رخص الوقود يفضل في مثل هذه الحالة الاتجاه الى هذا النوع من الأفران. وقد تم فعلا بناء فرن لإنتاج الصوف الزجاجي والعمل مستمر لبناء فرن لإنتاج القناني الطبية.

4-2-4 الأفران الحوضية اليومية:

الأفران التي تستخدم للاستعمال اليومي هي الأفران التي تقع بين الأفران ذات الاستعمال المستمر والأفران ذات الاستعمال الدوري من حيث التصاميم والطاقات، وجدت مثل هذه الأفران للحصول على زجاج بالمواصفات المطلوبة والتخلص من التقيد بنظام التشغيل على شكل وجبات عمل وكذلك التخلص من مساوئ الأفران البودقية ذات المحدودية بدرجات الحرارة وتبديل البوادق، بالإمكان العمل على الافران اليومية على شكل متقطع اما تصاميم الفرن فمشابهة لتصاميم الأفران العادية وتتميز عن الأفران البودقية بإمكانية صهر كافة انواع الزجاج، تستعمل الأفران اليومية عادة لإنتاج الأنواع الخاصة من الزجاج ذات الطلبية الصغيرة ويتم العمل بها غالبا يدويا، عملية صهر الزجاج في الأفران البودقية واليومية يتم خلال

فترة 24 ساعة حيث بعد انجاز بناء الفرن تتم عملية الأحماء بموجب الجدول المعتمد للأحماء تعقبها عملية تغذية الفرن بالمواد الأولية المطلوبة ومن ثم عملية الصهر والتجانس والتخلص من الفقاعات واخيرا التبريد.

اما نوعية الزجاج فقد اثبتت الدراسات العديدة بأن الزجاج المصنع (بوتاش, كرستال, صودا لايم) لم تكن في صالح الأفران اليومية مقارنة بالبودقية ويفضل البدء بالعمل بعد التغذية بوقت (6) ساعات للحصول على نوعية جديدة من الزجاج المنصهر.

4-2-5 الأفران البودقية:-

تعد الأفران البودقية من اقدم الأفران لصناعة الزجاج ويتم صهر الزجاج في هذا النوع من الأفران عن طريق اوعية خاصة تدعى بودقة حيث يتم فيها كافة مراحل صهر الزجاج (صهر، تنقية، تبريد) بالتعاقب في نفس المكان وبصورة متقطعة في حين ان الفرن بإمكانه العمل بصورة مستمرة او متقطعة، وفي حالة البوادق المفتوحة يخضع الصهر والفرن الى البرنامج المتقطع نفسه خلال (24) ساعة، اما اذا كانت البوادق مغلفة فتعزل منطقة الصهر عن العمل بوساطة بوادق مغلقة عدا منطقة سحب الإنتاج من فتحات العمل، وبوساطة فتح وغلق فتحات العمل بالإمكان الوصول الى برنامج عمل شبه مستمر وخاصة بالنسبة الى انواع الزجاج ذو درجات حرارة صهر وتصفية واطئة ، والحصول على منتوجات مختلفة الالوان وفي الفرن نفسه وفي الوقت نفسه ، والميزة الأخرى انه بالإمكان انتاج نوعيات جيدة ودون الحاجة الى العمل المستمر خلال (24) ساعة الى نظام عمل الوجبات. لكن من مساوئ هذه الأفران هي الصرفيات العالية في الوقود لذا عند اختيار نوع الفرن يؤخذ بنظر الاعتبار عدة عوامل منها نوع الوقود المتوفر ونوع المنتوج عدد الاماكن المطلوبة ومواصفات الزجاج، حيث من الضروري استعمال شعلات هادئة ذو مدى واسع يسمح بتغيير الشعلة اثناء العمل المتقطع لضمان الحفاظ على البوادق ويبين الشكل (4-7) فرن ذي البوادق بسعات مختلفة وهي من الأفران المتطورة التي يتم احمائها من الأسفل بوساطة الوقود السائل مع تأمين هواء الاحتراق من الغرف الحرارية التابعة لها. وتكون البوادق مرتبة على شكل بيضوي يتم سحب الزجاج من نهاية الفتحات من قبل العاملين ومن على ممر يحيط بالفرن، وكما يوجد فتحة خاصة في نهاية الفرن يمكن فتحها عن طريقه.

شكل 4-7 فرن بودقي لصهر الزجاج

4-2-6 الأفران الكهربائية:-

من الممكن إجراء عملية صهر الزجاج في الأفران الكهربائية بطريقة غير مباشرة بوساطة هيترات كهربائية ، شكل (4-8) او بطريقة مباشرة عن طريق امرار التيار الكهربائي خلال العجينة الزجاجية داخل الفرن حيث يتم تأين العجينة الزجاجية اعتماداً على القواعد التي تحتويها ، وتستعمل الطريقة غير المباشرة في الأفران البودقية او لأحماء جزء من الفرن مثل منطقة العمل.

تمتاز الأفران الكهربائية بما يأتي :

1- تأخذ حيز صغير لعدم وجود الغرف الحرارية او المبادل الحراري ومعلقاتها.

2- المحافظة على نظافة المنطقة والهدوء لعدم وجود شبكات الغاز والوقود والمشاعل وملحقاتها.

3- دقة السيطرة على مراحل صهر الزجاج ونقاوة العجينة مما يساعد على انتاج زجاج ذي مواصفات عالية.

شكل 4-8 فرن كهربائي

3-4 تشغيل افران صهر الزجاج والسيطرة عليها

1-3-4 التوزيع الحراري:

يعد الفرن جزءاً مكملاً لبقية المعدات المشاركة في العملية الإنتاجية الذي يجب ان يكون مستقلاً ومكملاً بالتناسق والتتابع مع بقية الاجهزة والمعدات الأخرى، توزيع الحرارة في داخل الفرن يمر بأربعة مراحل التي هي نظريا تعد مراحل صهر الزجاج وهي :

1- المرحلة الأولى (التحلل): تتعرض فيها المواد الأولية الى الحرارة العلوية من قبل المشاعل وحرارة سفلية من قبل الزجاج المنصهر ونظراً لرداءة التوصيل الحراري للمواد الأولية فأن الحرارة ترتفع تدريجيا الى ان تصل الى الحد المطلوب اذ تستقر بالرغم من استمرارية مصادر الحرارة بسبب اضافة مواد اولية تباعاً .

2- المرحلة الثانية (الصهر والتفاعل): تتراوح الحرارة في هذه المرحلة ما بين 100 – 1300°C اذ تتم فيها التفاعلات الكيمياوية بين المواد وتحرر الغازات نتيجة ذلك .

3- المرحلة الثالثة (التصفية والتجانس): تصل الحرارة في هذه المرحلة الى الحد الأعلى

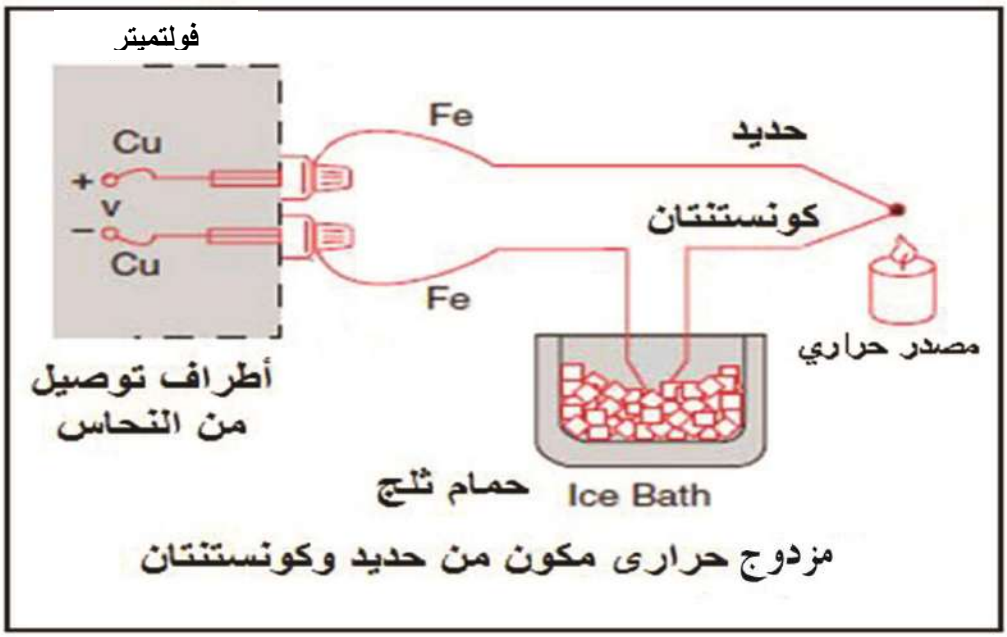
1400 – 1500°C يتم فيها التخلص من الغازات وتجانس العجينة ويستعمل فيها طرق ميكانيكية مثل توجيه الفقاعات الهوائية او بناء حواجز ما بين مناطق الصهر والتصفية.

4- المرحلة الرابعة (التبريد): يتم فيها خفض درجات الحرارة الى الدرجة التي تلائم نوعية الإنتاج المطلوب.

2-3-4 القياس والسيطرة :

قياس درجة حرارة الفرن: تترك درجات الحرارة اثراً رئيساً في صناعة الزجاج اذ ان عمليات الصهر، التصفية والتشغيل تعتمد اعتماداً كلياً على درجات الحرارة كذلك فأن عمر الطابوق الناري له علاقة مباشرة بحدود درجات الحرارة المثبتة، وعملياً تقاس درجات الحرارة في افران الزجاج عن طريق المحارير والباروميترات وتستعمل الأخيرة فقط في حالات خاصة او لأغراض المعايرة وتعتمد طريقة القياس باستعمال المحارير على ظاهرة (سيبك)، شكل (4-9) التي تعتمد على تحويل الفرن في درجات الحرارة بين سلكين من معدنين مختلفين الى فولتية التي بدورها تؤثر بوساطة اجهزة خاصة على شكل درجات

بطريقتي التأثير والتسجيل. ولقياس درجة حرارة الفرن توضع المحارير بما يتلأم مع ظروف درجة حرارة الفرن، هذا ويجب الأخذ بنظر الاعتبار عند تحديد موقع المحارير دقة القياس لدرجة الحرارة، الحساسية، العمر(اعتماداً على مقاومة المعدن للصدمات الحرارية) وتأثير الإدخال الذي يحتمل ان يكون في السقف. ولتجنب تكاثف القلويات المختلفة على اغلفة المحارير التي تؤثر بصورة كبيرة على كل الأغلفة والسقف يتم استعمال تأسيس محكم السد للغاز.



شكل 4-9 مخطط مزدوج الحراري حسب ظاهرة سيبك.

الطابوق او البلوك الذي يتم من خلاله ادخال المحارير يجب ان يكون من السيلكا وفي حالة افران التشغيل بدرجات حرارة عالية يتم استعمال الزركون الكثيف وتكون اغلفة الحنية من الكورندم، اما الحلقات ما بين الطابوق والغلاف الخارجي للمحارير فتملأ بقطع من طابوق السيلكا، وفي الوقت الحاضر بدأ استعمال قطع من طابوق الزركون بدلاً من السيلكا، في حين تملأ الحلقات ما بين الأغلفة الداخلية والخارجية بنسيج من الكورندم المقاوم لدرجات الحرارة العالية. ولضمان الدقة في قياس درجات الحرارة والحساسية يتم ادخال الغلاف بمقدار(3-5 cm) داخل الفرن، وعادةً يكون قياس درجة الحرارة في منطقة العمل اقل مشكلة من مناطق الصهر والتصفية وذلك لكون درجات الحرارة المستعملة فيها اقل، اما من ناحية المبدأ فهو نفسه، كذلك بالنسبة للغرف الحرارية كون درجات الحرارة لاتتجاوز ال ($800\ ^{o}C$) وعادةً تستعمل فيها محارير من النوع الرخيص.

هل تعلم؟

وجد توماس سيبك (1770-1831 م) في سنة 1821 انه عند تسليط درجات حرارة مختلفة على دائرة مصنوعة من معدنين مختلفين ومترابطين سوف يحرك بوصلة مغناطيس .وقد اعتقد سيبك في البداية بأن سبب ذلك يعود إلى المغنطة الناتجة من اختلاف درجات الحرارة، ولكن سرعان ما أدرك أن تيارا كهربائيا قد نتج بسبب قانون أمبير هو الذي حرك إبرة المغناطيس. ولتفصيل أكثر، فإن الاختلاف في درجات الحرارة ينتج جهدا كهربائيا (فولتية) يمكن أن يسيَر تيار كهربائي في دائرة مغلقة. ويعرف هذا التأثير حاليا باسم تأثير بلتير-سيبك. وغالبا ما يشار إليه باسم الطاقة الكهروحرارية.

لا يعتمد فرق الجهد هذا على توزيع الحرارة خلال المعادن بين الوصلات، فهذا التأثير هو الأساس الفيزيائي للمزدوجة الحرارية والذي يستخدم في قياس درجة الحرارة.

ويتناسب فرق الجهد V الناشئ خلال أطراف دائرة مفتوحة مصنوعة من زوج من معادن مختلفة طرديا مع الفرق في درجات الحرارة للمقطع الساخن والبارد $T_h - T_c$. حيث يحمل كلا المقطعين درجات حرارة مختلفة، اي ان:

$$V=\alpha\,(T_h-T_c)$$

حيث α: معامل سيبك.

3-3-4 قياس ضغط الفرن:

إن طبيعة عمل افران صهر الزجاج تحتاج الى اجواء ذات ضغط اعلى امن الضغط الجوي بقليل كي لا يسمح بدخول التيارات الهوائية الخارجية الى داخل الفرن التي تؤدي الى تبريد جو الفرن ولصرف كميات اكثر من الوقود، وتعد السيطرة الدقيقة على قياس ضغط الفرن مهمة جداً في تشغيل افران الزجاج حيث يعتمد عليها التشغيل الانسيابي لملحقات الفرن الأخرى مثل اجهزة قياس درجة الحرارة ومستوى الزجاج، وبسبب حجم انشاء الفرن ووجود الفتحات غير ممكن تجنبها تبرز اهمية الصيانة في استمرارية ضغط الفرن.

أن اتخاذ القرار في تحديد موقع جهاز قياس الضغط له اهمية كبيرة في نجاح الفرن ويفضل ان يحدد موقعه في سقف منطقة الصهر بالنسبة لأحواض زجاج القناني والأواني ذات النيران المتقاطعة ويحدد موقعه في الأفران الكبيرة ما بين الغرف الحرارية الرابعة والخامسة بينما في الأحواض ذات الشعلات على شكل حرف (U) فيكون موقعه في منتصف ما بين الجدار النهائي ونهاية الشعلة واحياناً يقاس الضغط في منطقة العمل ، اما في افران (U–Melter) فعادة يتم وضع الجهاز في مجرى الغازات الضائعة وفي حالة الأحواض الكبيرة المستخدمة في صناعة الزجاج العائم فيحدد موقع الجهاز في منطقة التبريد، علماً ان ذلك لا يعد قاعدة عامة وانما لكل حالة ميزاتها وتحتاج الى اتخاذ قرار بما يتلائم مع هذه الميزات.

وفي حالات عديدة يكون موضع جهاز قياس الضغط بموازات خط المركز للسقف ، وهنالك بعض الحالات يكون فيها موقع القياس عند مستوى العجينة.

ولتجنب فرق الضغط ما بين الجوانب اليمنى واليسرى لحوض الفرن يتم استخدام جهازي تحسس مشتركة مع انه في هذه الأنظمة بعض الغازات تتدفق الى داخل الأنابيب وقد يرافقها تسرب من المواد المتطايرة مما قد يسبب انسدادها، ويمكن تجنب هذا في حالة قياس الضغط عند السقف الا أنه هنا تتأثر القراءات بالغازات المتصاعدة في الفرن لذا يجب احكامها من هذه الناحية، ويجب ان تكون انبوبة الأختبار من السيراميك الملائم او الفولاذ المقاوم للحرارة مرتبطة بوساطة انبوب مرن بأنبوب حديدي يرتبط بجهاز قياس الضغط وتكون هنالك الحاجة الى استعمال الانبوب المعادل في حالة كون الفروقات كبيرة في الأرتفاع وفي درجات الحرارة .

4-3-4 احماء وتبريد افران الزجاج:

في الأفران الكبيرة التي تعمل بدرجات حرارة عالية وبسبب تمدد الطابوق وحساسيته تجاه الصدمات الحرارية خلال الانتقال من حرارة المحيط الى درجات الحرارة العالية خلال التشغيل وعكسه عند التبريد عليه يجب الاعتناء بدقة في اختيار مخطط التدرج الحراري مع الوقت صعوداً ونزولاً بحيث يضمن سلامته من الكسور .

الأحماء :-

تبدأ عملية الأحماء بوضع المشاعل في مجاري الدخان للغرف الحرارية اذ يتم غلق البوابة الرئيسة وجعل بوابات التبادل في موقع وسط اي (نصف مغلق) لتدفق الهواء المطلوب تحت الظروف الطبيعية لصهر الزجاج ، وفي حالة كون قدرة المشاعل غير كافية لتحقيق تدرج درجات الحرارة يتم وضع مشاعل

اضافية تحت الأقواس العاملة وفي الغرف الحرارية وعند وصول درجة الحرارة الى 600 ^{o}C ، يتطلب عندئذ فتح البوابة الرئيسة ببطيء وتبدأ عمليات التبادل من أجل تهيئة الغرف الحرارية لظروف التشغيل الطبيعية وتكون فترة التبادل كل 10- 5 دقيقة حيث يتم بذلك تجنب التذبذبات الكبيرة لدرجات الحرارة.

ان عمل المشاعل يبدأ عندما تصل درجة حرارة غرفة الصهر الى 1200 ^{o}C ولتجنب حدوث اضرار الصدمات الحرارية الفجائية لا يتم تشغيل جميع المشاعل في الوقت نفسه وانما يكون بصورة تدريجية كما ان الفروقات المطلوبة لدرجة الحرارة اثناء التشغيل الطبيعي ما بين منطقة الصهر ومنطقة العمل تستقر بعد تشغيل الفرن .

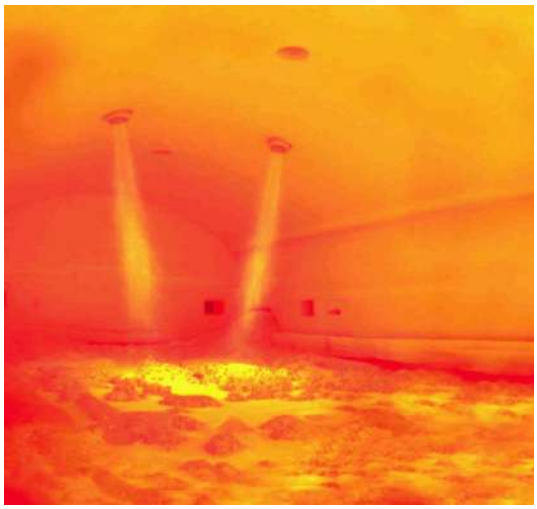
ويستعمل الأحماء المباشر عن طريق حوض الفرن للأفران الصغيرة والأفران التي تعمل بنظام المبادل الحراري، حيث تبدأ قنوات الغازات المحترقة والمبادل الحراري بالتسخين من القاعدة في الوقت نفسه الذي تبدأ به غرفة الصهر.

ان الغازات الحارة الضائعة تصرف خلال الفتحات الموجودة في السقف ، وفي المرحلة الأخيرة تفتح البوابة الرئيسة لتصريف الغازات الضائعة داخل المدخنة وعند وصول درجة حرارة غرفة الصهر ما بين 800–900 ^{o}C فأن المشاعل الاعتيادية تبدأ بتشغيلها بصورة تدريجية. علماً بأن من امتيازات هذه الطريقة هو السيطرة على توزيع درجات الحرارة بصورة افضل داخل حوض الفرن عن طريق السيطرة الأفضل على المشاعل .

تغذية الفرن بعد عملية الأحماء :-

توصي التعليمات القديمة على أنه قبل البدء بعملية الأحماء يتطلب فرش ارضية الحوض بالحطام وخاصة في الأفران الكبيرة مع المحافظة على عدم تغطية جدار الحوض بالحطام ليتمكن من السيطرة على التمدد خلال عملية الأحماء، لكن لوحظ بأن هذه الطريقة تؤدي الى حدوث ضغوطات كبيرة على ارضية الحوض حيث ان هذا الحطام يعمل كطبقة عازلة وعند انصهاره يؤدي الى تمدد سريع في طابوق الأرضية نتيجة الارتفاع الكبير لدرجات الحرارة، وفي الأفران الكبيرة فأن الحطام يتدفق بعد انصهاره الى منطقة العمل مما يسبب ايضاً تمدد الطابوق الامر الذي يؤدي الى حدوث تشققات في الطابوق الناري نتيجة عدم امكانية السيطرة على ارجاء اسناد الأرضية بالسرعة الكافية، ومن اجل تجنب حدوث هذه المشاكل فقد تم تغذية الفرن حديثا باستعمال ماكنة متخصصة لقذف الحطام الخشن، كما في الشكل (10-4) والمصممة

بمسار قذف ما بين (4 – 23 m) مع مراعاة تجنب قذف قطع الزجاج باتجاه الجدران المعلقة والسقف لأن ذلك يؤدي الى تآكل الطابوق قبل الأفران، اما عملية احماء الأفران بدون فرش الحطام فأنه يسبب فتح المفاصل و تبريد القاعدة بالتتابع أثناء عملية التغذية علماً بأن عملية التغذية تتم بعد ان تصل درجة الحرارة في القاعدة الى الدرجة المطلوبة.



شكل 4-10 قذف الحطام الخشن داخل الفرن

القياس والسيطرة خلال عملية الأحماء:-

جميع الات القياس والسيطرة يجب ان تكون مهيأة قبل البدء بعملية الأحماء مع وضع محارير اضافية في ارضية الفرن، الغرف الحرارية، المجاري، كذلك فأن مقاييس الضغط في خطوط الغاز لغرفة الصهر والفرن والغرف الحرارية، والمجاري ايضاً تعد ضرورية ويجب تزويد مشاعل الأحماء بجميع الأنظمة من اجل ضمان السيطرة الدقيقة للغاز، الهواء، درجة الحرارة ، الغازات المحترقة وكميتها .

تبريد أفران الزجاج: -

في حالة تبريد الفرن ولغرض اجراء تصليح جزئي أو لغرض اعادة بناءه يجب أن يتم التبريد بصورة منتظمة وفي حالة توفر الوقت الكافي يتم التبريد بصورة بطيئة ومحكمة اعتماداً على حجم وظروف الفرن. اذ ان مخطط درجة الحرارة \ الوقت مشابهة للمخطط المستعمل في عملية الإحصاء .

لذا فأنه بالإمكان رسمه واعتماده بإدخال الهواء أو باستخدام مشاعل اضافية، كما ان أحكام ضبط الأسناد يجب ان يكون متوافقاً مع عمليات التبريد. وفي حالة تنفيذ عمليات التبريد بعناية فأن ذلك يضمن استعمال الطابوق الناري مرة ثانية.

تفريغ الأفران الحوضية:-

في حالة تبريد حوض الفرن بدون تصريف اولي للزجاج فسوف يؤدي ذلك الى تكوين كتل زجاجية لا يمكن ازالتها الا بجهد كبير وكلفة عالية ، وافضل طريقة لتجنب حدوث هذا هو تفريغ الزجاج باستعمال رشاش ماء الذي يحول الزجاج الى قطع صغيرة يسهل التعامل معها مع استمرار الاحتراق للأفران خلال التفريغ وخاصة في أفران صهر الزجاج الملون الى ان تصهر الطبقة القريبة من الأرضية

تجهز فتحات التصريف بأبعاد 8×8 cm في عدد من الأماكن القريبة من ارضية الحوض وخاصة في المواقع المنخفضة اذ يحدد موقعها في طابوق الأسناد عند انشاء الفرن وتحكم بسداد مناسب الذي يدفع باتجاه التصريف .

وبعد شيوع استعمال العوازل والزيادة في درجات حرارة التشغيل للأفران اصبحت فتحات التصريف تشكل عبئاً اذ تسبب التآكل في الطابوق لذا طورت حديثاً تثقيب فتحات خلال الطابوق الناري، اذ يثقب الطابوق قبل عملية التفريغ ومن فوائد التثقيب في هذا الوقت هو امكانية تحديد موضع فتحات التصريف حسب ظروف الفرن ومن الممكن تثقيب الفتحات واحدة فوق قمة الأخرى لتسهيل عملية التفريغ ، كذلك فأنه يسمح للزجاج بالتدفق باتجاه التفريغ وبمعدل ($70\ m^3$) في الساعة عند ضغط (8-6 bar) ، تعمل القناة ما بين فتحة التفريغ ورشاش الماء وتسخن مسبقاً بدرجة حرارة معينة لذا فأن تدفق الزجاج يكون حراً اما رشاش الماء فيصنع من قنوات حديدية، وتنظم السيطرة على تدفق الزجاج عن طريق سدادات تدفع مقابل جدار الحوض هيدروليكيا أو ميكانيكيا، وايضاً من الممكن تزويد نظام التصريف ببوابة حديدية مقاومة للحرارة مبردة بالماء تستعمل للسيطرة على التدفق.

كما تجهز بعض الأحواض بفتحات في الأرضية لأسباب فنية حيث بالإمكان استعمال هذه الفتحات لتصريف الزجاج من ارضية الحوض، ومن المهم هنا ايضاً السيطرة على عملية التدفق ويتم ذلك عن طريق بوابة منزلقة مع استعمال رشاش الماء لتثبيت الزجاج

أسئلة الفصل الرابع

س1/ ماهي وظائف الاجزاء التالية في فرن صهر الزجاج (العنق ، جيب التغذية ، الغرف الحرارية)؟

س2/ ما الاسس المعتمدة في نظام تشغيل افران الصهر (U- melter) ؟

س3/ ما مميزات الافران الكهربائية المستعملة في صناعة الزجاج ؟

س4/ عدد المراحل الاربعة التي تقوم بها افران صهر الزجاج ؟

س5/ما لمقصود بظاهرة سيبك وكيف تستخدم لقياس درجة حرارة الافران، وضح ذلك بالرسم؟

س6/ ما أفضل المناطق التي يتم فيها وضع مقاييس الضغط داخل الافران ، ولماذا ؟

س7/ لماذا لا يفضل أن تعمل مشاعل تسخين الافران جميعها في الوقت نفسه ؟

س8/ ما الاثار السلبية للأسلوب القديم المتبع قبل تشغيل افران صهر الزجاج والمتضمن فرش ارضية حوض الفرن بحطام الزجاج ؟

س9/ ماذا يحصل لو تم تبريد أفران صهر الزجاج قبل تفريغ منصهر الزجاج . واذا كان لابد من بقاء جزء من منصهر الزجاج فكيف يتم التعامل معه ؟

الفصـل الخامس

عمليات وطرق التشكيل

أهداف الفصل:

من المتوقع ان يتعرف الطالب على :

1- أنواع الزجاج من حيث الشكل.
2- عمليات وطرق التشكيل.
3- طرق الزخرفة على الزجاج.

محتويـات الفصـل:

5-1 التشكيل اليدوي (النفخ)
5-2 التشكيل الميكانيكي
5-2-1 القناني الزجاجية
5-2-2 الأواني المنزلية
5-2-3 الألواح الزجاجية
5-3 طرق السحب العمودي
5-4 زجاج الصب
5-5 المصابيح الكهربائية
5-6 منتجات زجاجية اخرى (الالياف الزجاجية، الالياف الزجاجية البصرية، الصوف الزجاجي).
5-7 عمليات ما بعد الانتاج (التلدين والتقسية، الزخرفة)
5-8 الزجاج المعشق
الاسئلة

تمهيد:

إن الزجاج مادة من أقدم المواد التي استعملها الإنسان وعرفها وقد كانت تلبي احتياجاته الحياتية، إذ تعلم طرق تركيبها وطرق صناعتها وتشكيلها وغدت إحدى الحاجات اليومية المهمة، ولم يعد الزجاج اليوم مقصورا على نوع واحد، بل هناك الكثير من الأنواع والأشكال واختلفت طرق التشكيل والتركيب وتنوعت الألوان والتصاميم في الشكل الخارجي او في الزخارف والرسوم المطبقة، وكل نوع يخضع لتركيبة معينة او لوصفة خاصة، بل وتطورت صناعة الزجاج لتكون تحفا فنية من ناحية التصميم الشكلي ليكون جزءا مهما من التصميم الهندسي والجمالي، او لتصبح ضمن الصناعات المهمة التي تخدم الواقع الإنساني فتطور الصناعات الكثيرة التي تدخل في حياة البشر اليومية وحتى في الصناعات العلمية الكبرى لخواصه المهمة والمتنوعة. تتنوع عمليات وطرق التشكيل ومنها:-

1-5 التشكيل اليدوي (النفخ)

وجدت الصناعات اليدوية (Manual Industries) منذ ان وجد الزجاج ولغاية سنة 1880-1890 م حين ظهرت الصناعات الزجاجية النصف آلية (Semi-Automatic) كانت عمليات انتاج الزجاج بكافة انواعها تتم يدويا. بعدها تطورت الى ان اصبحت آلية بصورة كاملة (Full-Automatic) في عام 1920م. وبالرغم من هذا استمرت اعمال الصناعات اليدوية اذ تتميز بالدقة والجمال وخاصة الصناعات الكريستال والملونة والخاصة.

ومن الصعب وصف كيفية تصنيع الزجاج بالطرق اليدوية لكنها تبدو بوضوح من سلسلة العمليات الانتاجية الموضحة في الاشكال (5-1) و(5-2) و(5-3). التي يتم فيها انتاج معين ذو قاعدة وساق وفي نفس الطريقة بالإمكان تصنيع منتوجات عديدة اخرى مشابهة اذ تستعمل المعدات اليدوية، كما في الشكل (5-4).

الشكل 5-1 يبين العامل وهو يشكل العجينة الزجاجية بوساطة انبوب النفخ على منضدة التشكيل.

الشكل 5-2 يبين العامل وهو يتعامل مع العجينة الزجاجية بوساطة ملقط ويسند انبوب النفخ على عارضتين.

الشكل 5-4 الادوات اليدوية في تشكيل الزجاج.

الشكل 5-3 انابيب نفخ الزجاج.

بعض أواني المائدة ذات النوعية الجيدة تصنع باستعمال العمليات اليدوية ويتم التحكم والسيطرة عليها بطرق ووسائل خاصة ويتم صنع الأواني والمصابيح الكهربائية والألواح الزجاجية.

لقد كان قدماء المصريين امهر من صنع الزجاج في العصور القديمة، وكان ذلك منذ (3500 سنة ق.م)، فقد تعلموا صناعة الزجاج من ألوان جميلة وابتكروا عدداً من الألوان ومن بينها اللون الأزرق، ولكن قدماء المصريين كانوا يجهلون طريقة التشكيل اليدوي (بالنفخ)، وكانوا يشكلون الزجاج وهو لين كالعجينة ليصنعوا منه التماثيل والأشكال والمنحوتات الصغيرة، وكذلك الحلي والقلائد والخرز والأقراط وغيرها من الأشكال، وكانت عمليات التصنيع تلك صعبة ومعقدة وبذلك فهي غالية الثمن وقد كان الزجاج يرصع العقود والتيجان والحلي الذهبية عند قدماء المصريين.

يبدأ تشكيل الزجاج بعملية صهر المواد ومن طرق التشكيل طريقة النفخ وهي طريقة قديمة معروفة، وتتم بأخذ قطعة من الزجاج المصهور ورفعه بطرف أنبوبة حديدية مثقوبة (أنبوبة معدنية مجوفة) ويبدأ النفخ بالفم من الطرف الآخر وأثناء ذلك يقوم الصانع بتحريك الانبوبة المعدنية بشكل استدارة حول نفسها وبشكل مستمر ليتم توزيع الهواء بشكل متساوٍ في أجزاء القطعة الزجاجية ويقوم بفتحها من كل الجهات فتشكل اسطوانة او كرة غير منتظمة، ويستمر الصانع بالنفخ وتشكيل الزجاج بنماذج متنوعة وفقا لمهارة الصانع وإبداعه، وأحيانا خلال النفخ توضع في قوالب خاصة حسب الشكل المراد تنفيذه ويستمر بالنفخ والزجاج داخل القالب ليتشكل شكلا ما بدقة أعلى ونماذج أسرع وأجمل، شكل (5-5).

شكل5-5 طريقة النفخ اليدوي والأفران

اكتشفت طريقة أخرى صناعية متطورة لصناعة الزجاج وهي النفخ الميكانيكي في عام (1926م)، وبدأ إنتاج اللمبات والمصابيح الكهربائية، وهذه الآلة يمكن ان تنتج (1000) وعاء زجاجي في الدقيقة، ومن خلال ذلك انتشرت صناعة الأواني الزجاجية والمصابيح الكهربائية، وطريقة عمل هذه الآلة هو بأن يتم نفخ الزجاج لها بهيئة شريط يلتقي مع عدد من فتحات النفخ المتتالية وبضغط عالٍ، ليتشكل الزجاج على هيئة فقاعات تأخذ شكلها النهائي بالضغط في قوالب معدنية خاصة.

تبقى الصناعة اليدوية من الصناعات المهمة، والأداة المهمة لعامل الزجاج هي انبوب النفخ، وقد اخترع هذا الانبوب قبل (2000 سنة)، ويبلغ طوله حوالي (1.5 m) مصنوع من الحديد المقسى (نيكل ستيل) او نوع آخر من الحديد ذي خواص ملائمة، ويضيق الانبوب تدريجيا في نهاية واحدة وفي النهاية الاخرى فتحة مخروطية موسعة وهي طرف التجمع من انبوب النفخ، اذ يضع عامل الزجاج طرف التجمع من انبوب النفخ

في بودقة الزجاج، ثم يدور انبوب النفخ ويجمع كمية من الزجاج الذي يريد عمله ثم يقوم بدوران أنبوب النفخ بشكل مستمر ويعيد تسخينه دائما، وهذا يحتاج الى خبرات خاصة وتمرن وتمرس ليصبح صانع الزجاج ماهرا يقوم بعمله بدقة وعلمية.

يقوم الصناع بنفخ الزجاج فيتحول الى فقاعات ويقطعون هذه الفقاعات من طرف الأنبوب المعدني ويصنعون الأواني والأقداح والأباريق المختلفة الأشكال ، وابتكروا القالب ليضعوا تلك الفقاعات داخل القالب الخاص وينفخونها حتى تلامس جدران القالب من جميع الاتجاهات فيتكون الشكل المراد من ملامسة الزجاج لجدران القالب وتبريده فيه، شكل (5-6).

شكل 5-6 طريقة صب الزجاج في قوالب بعد النفخ

تصنيع الزجاج المسطح بالنفخ:

استعمال الزجاج المسطح لأنه ذو شفافية عالية ويمكن ان ينفذ الضوء من خلاله

وتسمى طريقة صناعته بطريقة التاج وهي :-

1- تعتمد على نفخ كرة كبيرة الحجم مجوفة من الزجاج بوساطة أنبوب النفخ ويقوم الصانع بتشكيلها.

2- يقوم بتعريض الكرة الزجاجية الى فتحة فرن الصهر مع لفها وتحريكها باستمرار والضغط عليها ليصبح شكلها بيضاوياً فارغاً مملوءاً بالهواء.

3- تستعمل أنبوبة أخرى للنفخ ويرفع بنهايتها قطعة صغيرة من الزجاج المصهور.

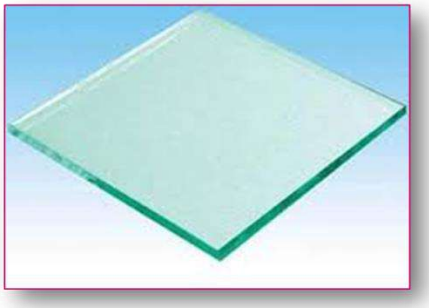
4- يتم فصل أنبوبة النفخ الأولى عن قطعة الزجاج الموضوعة على الأنبوبة الثانية وتترك فتحة صغيرة بحدود 5 cm.

5- يعاد تسخين قطعة الزجاج بوضعها مرة أخرى أمام فتحة فرن الصهر إلى ان تصبح في حالة من الليونة تجعلها سهلة التشكيل مع المحافظة عليها من الالتصاق والانبعاج.

6- يقوم أنبوب النفخ بزيادة اتساع فتحتها وتشكيلها تدريجيا من خلال نفخها لتصل لمستوى التسطيح بتأثير القوة المركزية الطاردة مكونة قرصا زجاجيا باردا.

7- يفصل قرص الزجاج بعد ذلك عن أنبوب النفخ والتشكيل ويوضع في فرن مدة كافية لتبريده.

8- يقطع قرص الزجاج الى ألواح صغيرة صالحة للاستعمال، كما في الشكل (5-7).



شكل 5-7 الزجاج المسطح

وتستعمل في إعمال الموزاييك الفسيفساء وإعمال التعشيق وملء الفراغات، وقد بدأ تصنيع الزجاج المسطح بالأسطوانة اليدوية بدلا من طريقة التاج في نهاية القرن السابع عشر وبداية القرن الثامن عشر وقد تطورت حتى القرن العشرين لتصبح هناك ماكينة طريقة الاسطوانة وبعد ذلك أصبح من الممكن سحب اسطوانة من الزجاج الى ارتفاع (1500 cm) إذ تفصل الاسطوانة وتسطح ثم تفخر التي كان إنتاجها من الزجاج المسطح قليلا جدا.

خطوات إنتاج الزجاج المسطح بوساطة الاسطوانة هي:-

1- تؤخذ كمية من الزجاج المصهور من فرن الصهر بوساطة أنبوب النفخ، وتكون الكمية كافية لعمل اسطوانة، يستمر الصانع بنفخها وتعريضها لحرارة فرن الصهر في كل مرة لتكون لينة مطاوعة للعمل وخلال ذلك يقوم بتحريكها باستمرار على لوح حديدي ساخن لتأخذ شكلاً اسطوانياً نهايته مجوفة.

2- يؤخذ أنبوب آخر من أنابيب النفخ وبطرفه قليل من الزجاج المصهور الذي يسمى (بلينة) ويلصق بالأسطوانة الزجاجية بعد فصل قاعها عن أنبوب النفخ، ثم يتم تعريض الاسطوانة الى فتحة فرن الصهر لتلين قليلا مع استمرار عملية تشكيل القاع لتوسيع هذه الفتحة لتصل الى مستوى قطر الاسطوانة، تفصل الاسطوانة الزجاجية بعدها عن أنبوب النفخ وتوضع في فرن التبريد حتى تبرد.

3- تشق الاسطوانة الزجاجية المجوفة طوليا بعد تبريدها ويتم إعادتها الى الفرن لتسخينها وتليينها ثم يبدأ الصانع بتسويتها بوساطة أداة خشبية واسطوانة حديدية ساخنة وتوضع في فرن التبريد مرة أخرى وهي على هيئة لوح زجاجي ، وبعد التبريد تؤخذ وتقطع الى ألواح لكي يمكن استعمالها.

وقد تطورت هذه الطريقة وأصبح يتم نفخ الأنبوبة الزجاجية بالهواء المضغوط أوتوماتيكيا بدلا من عامل النفخ وبذلك أنتجت أنابيب اكبر حجما من الأنابيب السابقة من الزجاج المسطح.

2-5 التشكيل الميكانيكي:

اخذ التطور العلمي والتكنولوجي مساحة كبيرة في عمليات تصنيع الزجاج التي تطورت بشكل متسارع لتصبح عمليات التصنيع احيانا خاضعة بالكامل للمكائن وطرق التصنيع الآلية، كما دخلت مواد أخرى مضافة الى خلطة الزجاج لإنتاج أنواع من الزجاج جديدة وبمواصفات خاصة.

1-2-5 القناني الزجاجية:

مع تطور التكنولوجيا وتطور طرق صناعة الأغذية كان لابد من وجود الأوعية والقناني لحفظ المواد السائلة والصلبة والمشروبات، وهي تتميز بتنوع أشكال العبوات والقناني وتنوع أحجامها وسمكها وتمتاز بالقوة والصلابة كما ان الزجاج لا يتفاعل مع المادة الغذائية الموجودة فيها، ولا يتفاعل كيميائيا مع بعض المواد المخزونة فيها، كما انه يوفر حماية ممتازة ضد الروائح والنكهة غير المرغوبة والتلوث ومنها الشفاف والملون حسب أغراض استعمالاته التجارية او البيئية وتلك العبوات الزجاجية والقناني تتميز بالقدرة على إعادة استعمالها عدد من المرات من دون الرجوع الى صانعها مع احتمالات الأمان المتوفرة نظراً لطبيعتها ولكن قد يكون من الجوانب السلبية فيها هو سهولة الكسر وثقل الوزن واهتمام خاص خلال حملها وعرضها وتداولها ،وان هذه القناني والعبوات صنعت بمواصفات خاصة لتتحمل الصدمات والكسر وتحملها فرق الحرارة للمواد التي تعبأ بها وكذلك التبريد المفاجئ، شكل (5-8).

شكل 5-8 قناني زجاجية

التركيب الكيماوي لهذه العبوات ذات الصلابة والمقاومة العالية هو:

سيلكا (SiO_2) 72.2% ، الومينا (Al_2O_3) 1.8% اوكسيد حديدوز (Fe_2O_3) 0.15 %، اوكسيد الكالسيوم (CaO) وهو من الاكاسيد المثبتة 9.5%، اوكسيد المغنيسيوم (MgO) وهو ايضا من الاكاسيد المثبتة .5 %، اوكسيد الصوديوم (Na_2O) وهو من الاكاسيد القلوية 13.6 %، اوكسيد البوتاسيوم (K_2O) وهو ايضا من الاكاسيد القلوية 0.45 %، اما اوكسيد الكبريت (SO_3) فيوجد بنسبة 0.3%.

يمر تصنيع القناني الزجاجية بعدد من المراحل تبدأ بتحضير المواد الأولية وتشكيل الخلطة، ثم تتم عملية الصهر في أفران الصهر بدرجات حرارة تصل الى (^oC 1500 -1400) فيتبخر الماء وتتفكك المركبات مثل (الكربونات والنترات والكبريتات) وخلال ذلك تتحرر الغازات، وتبدأ عدد من التفاعلات الكيميائية ويجهز المنصهر للتشكيل.

هناك معالجات تجري على سطح القنينة ومن هذه المعالجات:-

1- معالجات تجري بقصد تغطيتها وحمايتها من الخدوش ما يسمى معاملة النهاية الساخنة (Hot End Treatment) وهي تتم على السطح الخارجي للقنينة خلال مرورها على شريط متحرك من الماكنة الى

فرن التقسية (Annealing Oven) هي العملية المهمة في صناعة الزجاج حيث يتم تغطية السطح المعرض بأوكسيد التيتانيوم والقصدير التي توفر حماية أقوى من الزجاج نفسه .

2- أما النوع الثاني من المعالجة فهو التغطية بما يعرف بمعاملة النهاية الباردة (Cold End Treatment) وهي تتم خلال خروج القنينة من فرن التقسية حيث يتم تغطية القناني او العبوات بمحاليل مخففة من الصابون المعقد (Complex Soap) أو معاملته بمعلقات من مشتقات أحماض دهنية مثل الـ (بولي اثيلين) او (استيرات البولي ايثيلين) وهذه المواد تعطي حماية للزجاج ولا تغير من صفات التداول.

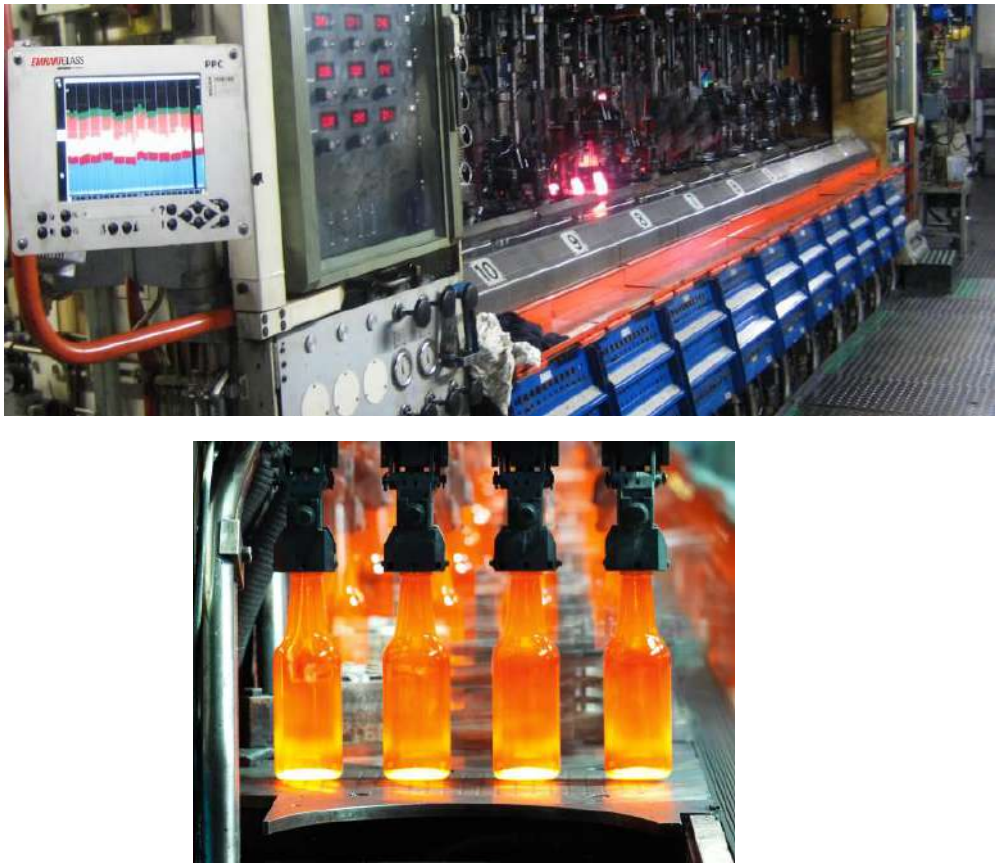
ان عمليات التقسية للقناني او العبوات تجري بعد انجاز تشكيل القنينة بتعريضها الى درجات حرارة بحدود ($500\ ^oC$) بأفران او أنفاق خاصة ثم تبرد الى درجة حرارة التداول، وذلك بغرض إكسابها القوة والصلادة (سيتم شرح ذلك لاحقاً وبالتفصيل).

تطورت الصناعات اليدوية لتتحول الى الصناعات الميكانيكية للقناني الزجاجية وتطورت صناعة المكائن الى مكائن سريعة ذات كفاءة عالية والتي كانت مزودة بأجهزة السيطرة الآلية والمكائن الشائعة الان في صناعة القناني هي ماكينة (كوب فيد gobfed) بمقاطع مستقلة ذات قالبين لإنتاج القناني قالب بدائي وقالب نهائي ويمكن تجهيز هذه الماكنة بـ (6,18,10) مقاطع وبإمكان المقاطع المختلفة ان تعمل بقطرة واحدة ومضاعفة مرتين في المقطع المفرد، وتتغير سرعة إنتاج الماكينة حسب وزن القناني المنتجة. في (ماكنة IS) تسقط القطرات في المغذي في قوالب التشكيل الأولية وتسقط قطرة او قطرتين او ثلاثة قطرات في ان واحد وهذا يعتمد على كون الماكنة أحادية او ثنائية او ثلاثية القطرة.

وهناك عملية نفخ او كبس في قالب التشكيل، اذ ينفخ القالب في حالة إنتاج القناني العادية ويكبس في حالة إنتاج الجرار (القناني ذات الفوهة الواسعة) يحدث النفخ في القالب اعتمادا على نوع المنتج وما اذا كانت القنينة ضيقة الفوهة او واسعة الفوهة، ثم تدفع القنينة من القالب النهائي وتوضع على لوحة مستقلة بوساطة تركيبة قطع خاصة اذ تبرد قليلا ثم تتحرك القنينة على حزام ناقل وتدفع داخل فرن الفخر بوساطة (دفاع).

يتشابه التشكيل الفعلي لهذا النوع من المكائن من حيث المبدأ لما هو عليه في مكائن (IS) نستعمل في الماكنة قوالب حديدية وهذه يجب ان تعامل بعناية كافية لأنها تستعمل في ظروف حرارية عالية فإذا كان سطح القالب باردا جدا سوف تظهر على سطح القنينة علامات وتموجات. اما اذا كان القالب ساخنا جدا فان الزجاج سوف يلتصق به، ويجب ان تدهن القوالب خلال العمل بدهن الكرافيت بين فترة وأخرى.

من المكائن الرائدة في صناعة القناني هي مكائن (Emhart I.S) السويدية التي تم صنعها سنة 1925م. والتي تتألف من اربعة اجزاء ولغاية عشر أجزاء. وتقابلها مكائن (Manl -Technology) الامريكي والايطالي (BDF)، كما في الشكلين (5-9) و (5-10).



الشكل 5-9 الماكنة السويدية Emhart I.S.

الشكل 5-10-a الماكنة الايطالية BDF.

الشكل 5-10-b الماكنة الايطالية BDF.

جميع المكائن اعلاه تشترك في الخواص الاتية:-

1- الهيكل المصنوع من الحديد المقاوم للحرارة (Heat Resistance Steel).

2- بإمكانها تصنيع القناني ذات الفوهة الضيقة والعريضة كبس - نفخ (Blow-Press) ونفخ - نفخ (Blow-Blow).

3- تعمل بنظام القطرة الواحدة (Single-Gab) او القطرتين (Double-Gab) او الثلاث قطرات (Triple-Gab) او الاربع قطرات (Quarter-Gab) حيث تعتمد عليها الطاقات الانتاجية.

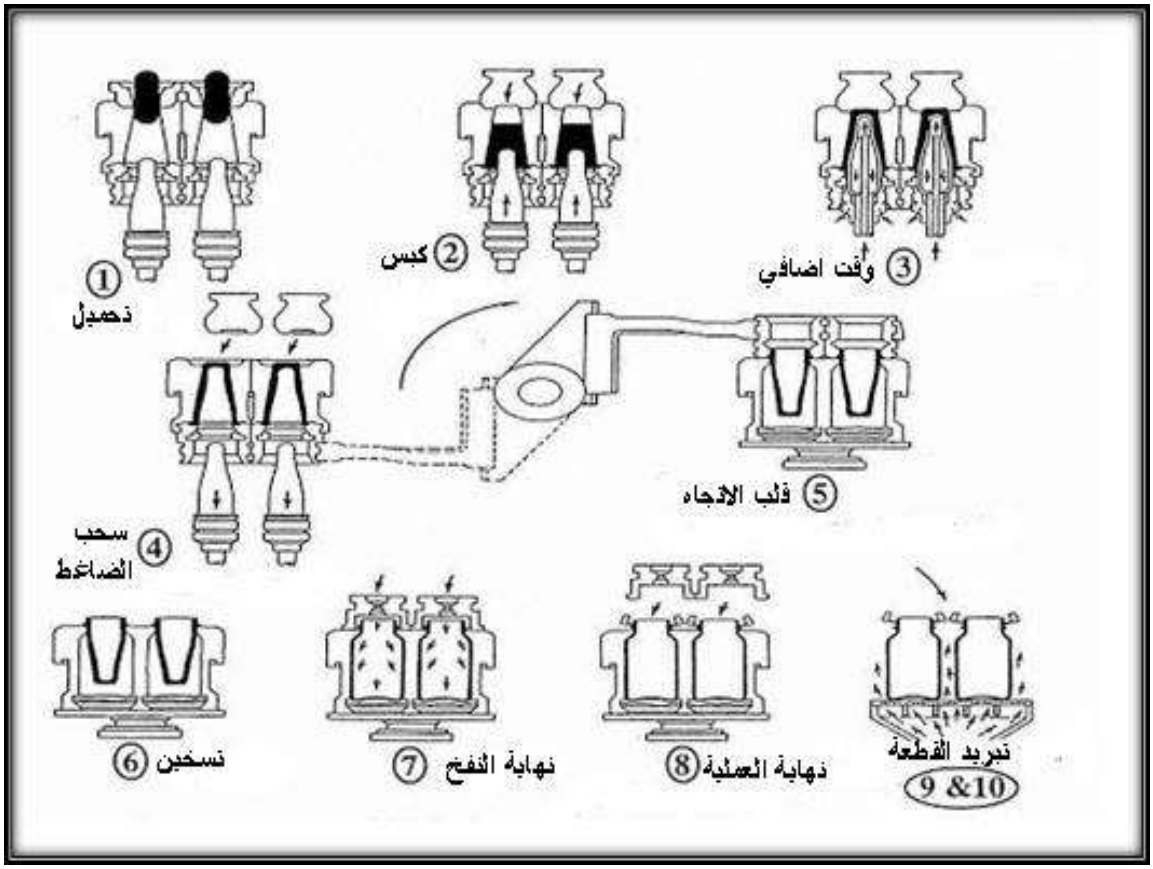
4- تعمل بصورة ميكانيكية او كهربائية او الكترونية وبمجمل العمليات 21-19 عملية.

5- يعمل كل جزء بمعزل عن بقية الاجزاء (Individual) وبالإمكان ايقاف اي جزء دون توقف الماكنة.

6- بالإمكان انتاج منتوجات مختلفة على الماكنة نفسها وبأوزان متساوية.

7- المكائن مجهزة بجهاز توقف (Synchronization) لمجمل العملية من نزول القطرة وحتى دخول المنتوج الى افران التلدين.

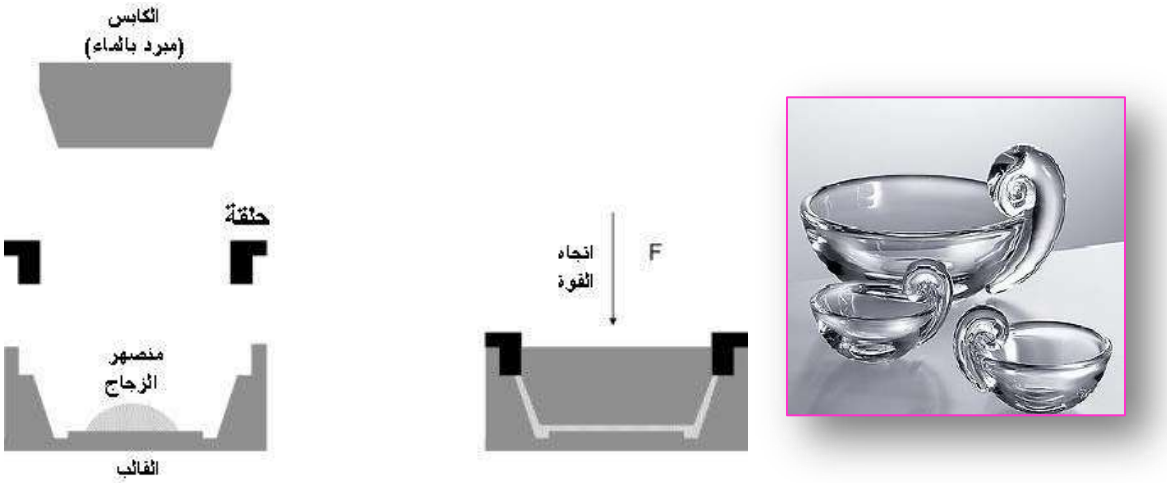
8- شروط السلامة المتوفرة كونها مستقرة وغير دواره. ويوضح الشكل (5-11) مراحل تصنيع القنينة.



الشكل 5-11 مراحل تصنيع القناني الزجاجية.

5-2-2 الأواني المنزلية:

يمكن ان تستعمل طريقة تشكيل الزجاج بالكبس للحصول على منتجات زجاجية نمطية مثل الأكواب والأطباق والعلب ويتم التشكيل آليا او يدويا وتوضع كتلة الزجاج في قالب ذي شكل خاص ثم يضغط الزجاج بقوة في مكبس له تصميم للإطار الداخلي للزجاج المطلوب تشكيلة، شكل (5-12).



شكل 5-12 مخطط تشكيل اواني منزلية زجاجية بالكبس

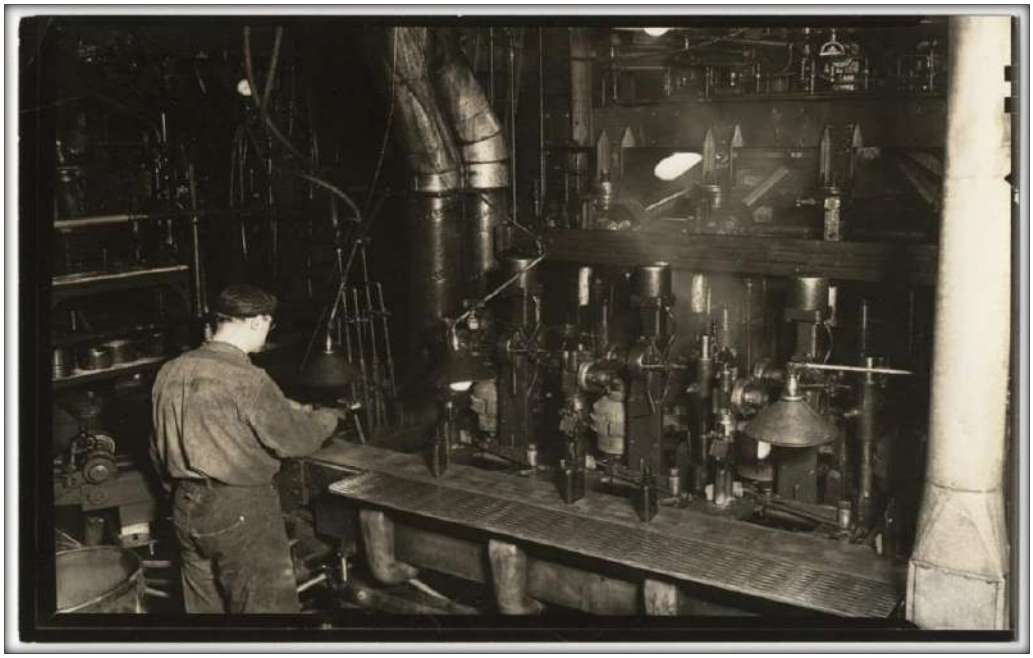
وقد تصنع الأدوات المنزلية الخاصة وذات الجودة العالية يدويا، وقد تعمل انواع جيدة ايضا أوتوماتيكيا بالات خاصة.

تصنع الأواني المنزلية بطريقتين وهما :-

1- بطريقة ماكينة الكبس العادية (Lynch)، شكل (5-13)، تحتوي هذه الماكينة على قاعدة دوارة وعلى محيط هذه القاعدة هنالك (12-16) قالبا وهذه القوالب مصنوعة من الحديد اما مصنوعة من قطعة واحدة او من قطعتين معلقتين ببعضهما بمفاصل ، وتستعمل هذه الماكينة لإنتاج الصحون والإطباق والأقداح ويمكن ان يفتح القالب الى نصفين في هذه الطريقة بعد عملية الكبس وهنا تصنع المنتجات البسيطة الاستعمالية.

2- بطريقة ماكينة قالب اللصق العجيني (Post Mold Machine) وفي هذه الطريقة تصنع المنتجات الأكثر صعوبة وتعقيدا مثل الأقداح ذات المقابض والجرار ذات اليد، وهي تعمل بوضع القوالب على قاعدة دوارة، وهناك نوعان من هذه المكائن، مكائن ذات الاثني عشر مقطعا ومكائن ذات الثمانية عشر مقطعا، اذ تستلم قطرات الزجاج المنصهر من مغذي عادي للأواني الزجاجية، وتعمل الماكينة عادة على قاعدة النفخ والكبس، ويغطى سطح القالب الداخلي بمعجون كاربوني وهذا يحفظ رطبا، ويدور الزجاج

في قالب النفخ وبذلك يعطي المنتج سطحا خارجيا صقيلا جميلا ثم تنتقل القطعة الزجاجية من هذه الماكينة الى ماكينة اشتعال وعندها تتقلب القطعة الى الأعلى والجوانب وللأسفل .



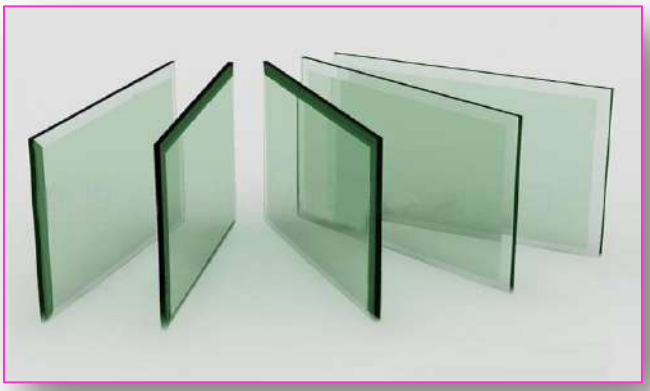
شكل 5-13 الماكنة لينج (Lynch)

5-2-3 الألواح الزجاجية:

ان الزجاج المستوي المصنوع بطريقة الألواح الزجاجية العادية ليس دائما ذا سطح مستوي ومنتظم اذ هناك دائما اختلاف بسيط في سمك الزجاج، وهذا الاختلاف البسيط في السمك ربما يسبب انحرافا وتشويها للرؤية وللتخلص من هذه التشويهات من الضروري الحصول على سطوح مستوية ومتوازية تماما وبالإمكان الحصول على هذه السطوح بتنعيم وصقل الزجاج ومثل هذا التنعيم والصقل ربما يجري على الزجاج السبائكي، شكل (5-14).

استعمل الزجاج السبائكي المصنوع بالطريقة المستمرة في صناعة الألواح الزجاجية الصقيلة ، فبعد الزجاج السبائكي يفرش السطحان آنيا باستعمال الرمل ومزيج معلق يتدرج من حبيبات خشنة الى حبيبات ناعمة جدا وبعد عملية التنعيم يمر الزجاج من حامل وحدات الصقل وتجري عملية الصقل على السطحين في نفس الوقت كعملية مزدوجة، ويستعمل للصقل بطانة لباد وعالق خشن في الماء ويزيد طول وحدة التنعيم والصقل المستمرة على (300 m) والألواح الزجاجية المصنوعة بهذه الطريقة لا تسبب اي انحرافات او تشوهات في الرؤيا.

تطورت عمليات إنتاج الزجاج المسطح فمنها ما كان يتم صب الزجاج المصهور من البودقة مباشرة على القرص الحديدي والضغط عليه من الأعلى بدرافيل من الحديد الساخن إلا ان هذه الطريقة لم تكن مثالية فاستعيض عنها بصب الزجاج بين درفيلين يتم استقباله بقرص حديد مثبت، وظل الزجاج هنا لم ينتج بسطوح مستوية تماما.



شكل (5-14) الألواح زجاجية

ابتكر الفرنسي (لويس لوكاس) في عام 1668م طريقة صب الزجاج الذائب الساخن على منضدة تغطيها طبقة من الرمل، ثم كان يفردها على سطح تلك المنضدة بأسطوانات كبيرة وكأنه يصنع لوحا من طبقة او قشرة من عجينة الزجاج، وكان هذا اللوح اكبر من قطع الزجاج التي كانت تنتجها طريقة التاج بالإضافة الى انه لم يكن مجعدا مثلما كان الزجاج الاسطواني، ومضت سنين دون ان يستعمل هذا الزجاج بالنوافذ بل اقتصر استعماله على صناعة المرايا غالية الثمن وأخيرا وخلال الحرب العالمية الأولى اخترعت طريقة لصناعة ألواح من الزجاج المسطح المستوي وذلك باستعمال آلات خاصة اذ كان كل لوح يسحب من خزان كبير مملوء بذائب الزجاج وتحمله اسطوانتان، واخترعت أيضا طريقة تنتج شريطا من الزجاج لانهاية له وعرضه تقريبا مترين وكان هذا الشريط ينتقل من الفرن الى حجرة الشحن عبر فرن تدفئة وهناك كان يقطع الى قطع مربعة ويعبأ في صناديق وكانت هذه الآلة تنتج 30000 قدم مربع من الزجاج كل 24 ساعة تتطلب ألواح الزجاج المسطح نوعية أفضل مما يتطلبه زجاج القناني.

طرق تصنيع الالواح الزجاجية:

توجد اربع طرق رئيسة لإنتاج الالواح الزجاجية وهي :-

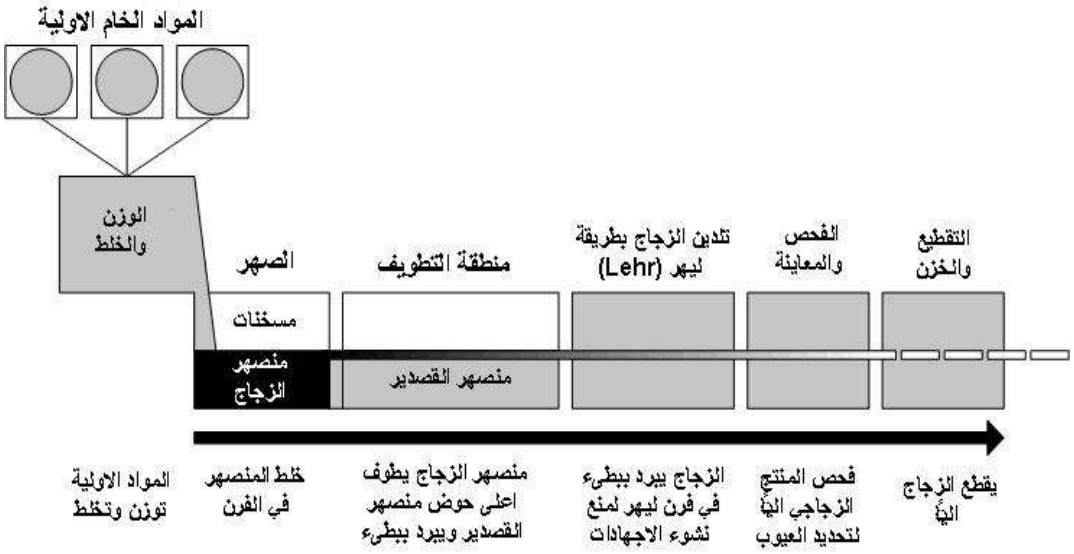
1- طريقة الزجاج العائم (Float Glass):

الزجاج العائم وهو زجاج تم اكتشافه من خلال رجل الأعمال (اهستين بلنكتن Pilkington) في ستينيات القرن العشرين وجاءت طريقته لمعالجة طريقة إنتاج ألواح الزجاج المسطح وصعوبة تسوية جوانبها وإزالة الزوائد والعيوب السطحية وتلميعها وتجليخها لتصبح جاهزة للعمل والاستهلاك وكان ذلك عالي الكلفة فابتكرت صناعة الزجاج العائم.

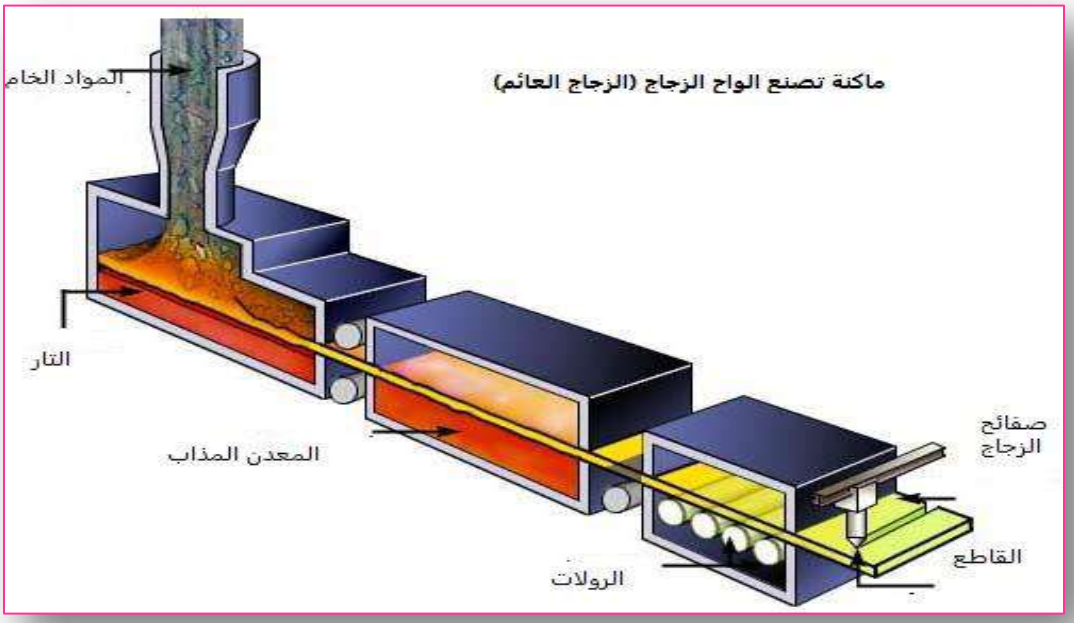
وتعد من احدث الطرق لإنتاج الالواح الزجاجية بسمك يتراوح من 2 mm ولغاية 12 mm وبالوان مختلفة وقياسات كبيره وذات مواصفات جيده جدا اذ تتم عملية الانتاج بطريقة طوفان الزجاج السائل على سطح حوض من القصدير المنصهر يتم تحديد سرعة السحب بوساطة معدات خاصة بعدها يجري عليها عمليات التبريد التدريجي ومن ثم تقطيعها الى القياسات المطلوبة، شكل (5-15). من مميزات الالواح المنتجة بهذه الطريقة خلوها من التموجات التي غالبا ما تظهر في الالواح التي تنتج بالطرق الثلاثة الاخرى . ويستعمل الزجاج المنتج بهذه الطريقة في انتاج زجاج السيارات والمرايا اضافة للاستعمالات الاخرى.

وتتلخص الطريقة بـ:

يخرج الزجاج المصهور من فرن الصهر بطريقة السحب الأفقية الى غرفة التشغيل لتتحول الى أشكال أشرطة ثم تقوم الماكنة بلف الشريط او اللوح الزجاجي بوساطة زوج من الاسطوانات الدوارة والمزودة بالماء ثم إمراره في حمام من القصدير المصهور ولان الزجاج اخف من القصدير لذلك يطفو على هذا المعدن اذ ينساب على سطحه في درجة حرارة متحكم فيها بعناية خوفا من تماسك المعدن وخلال ذلك تكون هناك اسطوانات الشفط العمودية التي تعمل على منع تأكسد المعدن أثناء عملية صب الزجاج وتكون هنالك أيضا في الماكنة سخانات علوية للمحافظة على درجة الحرارة وتنظيمها وبذلك يستطيع الزجاج ان ينحدر بحرية على سطح المعدن المصهور وبعد ذلك يتم تبريد الزجاج ثم تقوم الدرافيل بتوصيله الى أفران التبريد وأخيرا يخرج اللوح من الحمام ويمر في فرن تتغير درجة حرارته بمعدل لا يسبب تلف سطح الزجاج حيث يتم تبريد الزجاج بها دون ان يشوه السطح السفلي، شكل (5-16).



شكل 5-15 مخطط تصنيع الالواح الزجاجية بطريقة التعويم (الطفو)



شكل 5-16عملية تصنيع الزجاج العائم

ويكون قياس الألواح التي تنتج بهذه الطريقة بسمك مناسب بحدود (6mm) وقد تحدد هذا السمك بطريقة تلقائية نتيجة القوى الطبيعية المؤثرة على حمام الطفو وهي ظاهرة حسنة اذ يحتاج (50%) من سوق الزجاج مرتفع الجودة الى هذا السمك ، وقد استطاعت الشركة بعد عامين من إنتاج زجاج بسمك (3 mm) عن طريق مط الشريط برفق، والان تتراوح سمك إنتاج الزجاج ما بين (4 mm) لأغراض البناء و (25 mm) لأغراض أخرى شكل (5-17).

شكل 5-17 الزجاج العائم بحالته النهائي

ويتميز سطح الزجاج الناتج بهذه الطريقة بالاستواء التام نتيجة الاستواء المماثل لسطوح حوض القصدير المصهور وتتميز هذه الطريقة أيضا بانتظام السمك ولمعان السطوح من دون الحاجة إلى تجليخ او صقل.

اما الطرق الثلاثة الاخرى فهي :-

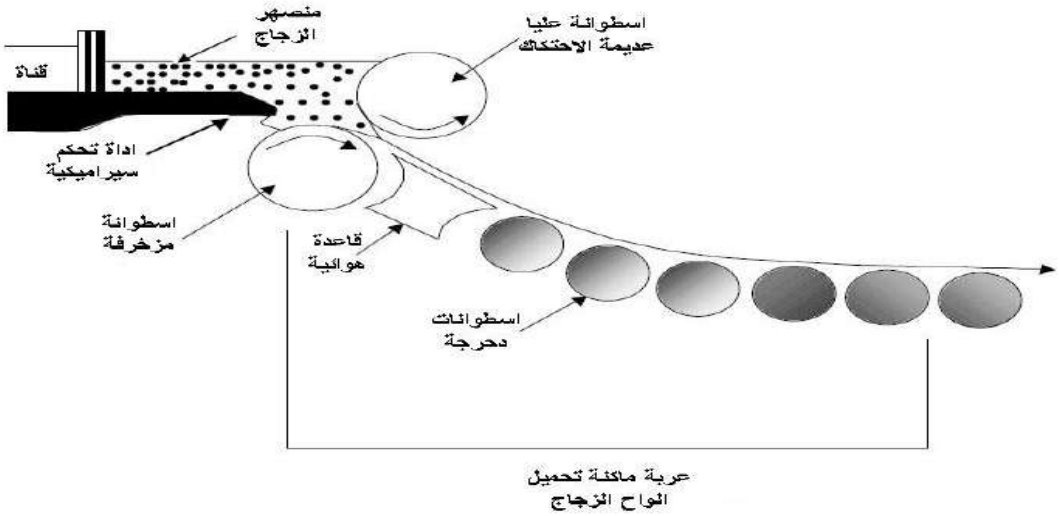
2- طريقة فوركولت (Foorcault).

3- طريقة بيترسونك (Pitersbong).

3- طريقة اساهي (Asahy).

تشترك الطرق الثلاث اعلاه في سحب الشريط الزجاجي داخل ازواج من رولات متحركة احدهما بعكس الاخر مغلفة بطبقات من الاسبست بدءاً من احدى عشر زوجاً فصاعدا. و اثناء صعود الشريط الزجاجي وخلال الرولات يتم عليها عملية التلدين وبموجب نظام تبريد خاص يتم في النهاية قطع الشريط حسب قياسات خاصة وفي نهاية الخط الانتاجي يقطع الى القياسات المطلوبة.

الفرق الرئيس في طريقة الانتاج للطرق الثلاث اعلاه تكمن في عملية سحب الزجاج من منطقة العمل حيث في طريقة فوركولت تتم عن طريق ابلام من الشاموت ذات قياسات خاصة يوجد في وسطها شق طولي تغطس في الحوض الزجاجي تحت الماكنة ويسحب الشريط من خلال الشق عن طريق الرولات (اسطوانات صلدة) كما في الشكل (5-18).



شكل 5-18-a مخطط ماكنة صناعة الألواح الزجاجية بالرولات.

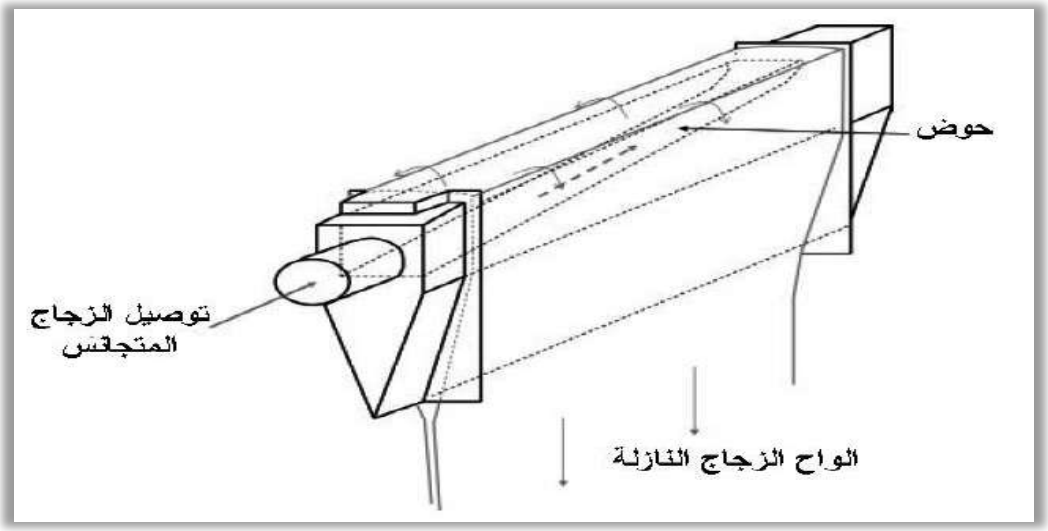
شكل 5-18-b صورة ماكنة صناعة الألواح الزجاجية بالرولات.

اما الطريقتان الأخريان فيتم سحب الشريط الزجاجي بوساطة جسم اسطواني او ذو مقطع خاص بدلا من البلم. من مساؤى هذه الطرق الثلاث هو ان الرولات تترك اثارها على الالواح الزجاجية مما يسبب ظهور التموجات والتي بالإمكان التخلص منها في الاستعمالات الخاصة (زجاج السيارات، المرايا،...اخرى) بوساطة التجليغ والصقل بطرق خاصة.

3-5 طرق السحب العمودي Forecourt Method

ظلت الطرق العديدة في إنتاج زجاج مسطح غير فعالة نوعا ما وذلك لحدوث سطوح غير مستوية فقد ظهرت طريقة السحب العمودي التي بدأت عندما قام الصانع بصب الزجاج بين درفيلين من الحديد متحركين ليتم استقباله على لوح من الحديد مثبت على منضده ذات عجلة متحركة ليتم سحب المنضدة بما عليها من زجاج في اتجاه حركة الصب ثم يقطع الزجاج ويوضع في أفران التبريد. ظل العمل بهذه الطريقة حتى عام 1807م ، حيث بدأ أول تفكير في سحب الزجاج آليا على هيئة ألواح مباشرة من المصهور عن طريق جاذبة تغمس في مصهور الزجاج وتسحب لأعلى بالتدريج فتسحب شريطا من الزجاج يختلف عرضه حسب طول الجاذبة، ولكن هذه الفكرة لم تنجح مباشرة، لان شريط الزجاج كان يضيق شيئا فشيئا بالسحب حتى يصبح بالنهاية بشكل مثلث ، وتسمى هذه الطريقة ايضا بـ(rolled glass).

قدم العالم (اميل فوركولت) في عام 1915 م فكرة ناجحة وهي عبارة عن حوض له أرضية ذات فتحة طولية موازية لطول الحوض، وهذا الحوض مصنوع من مادة حديدية تتحمل درجات حرارة الزجاج المصهور دون ان تنصهر او تتآكل كما ان كثافتها اقل من كثافة مصهور الزجاج ولذا فهي تطفو على سطحه وتسمى العوامة وإذا ضغط على العوامة بطريقة ما فانه يمكن غمسها بالزجاج حتى نهاية جانبيها ولذلك يندفع الزجاج المصهور من شق العوامة في القاع ويرتفع الى أعلى حتى يصل مستوى سطح الزجاج حتى خارجها وإذا ترك الزجاج هكذا فانه يملأ العوامة ويوقف اندفاعها، وإذا امسك او التقط فجأة بوساطة جاذبة الى اسطوانة دوارة متقابلة فأنه يسحب على هيئة لوح منتظم يختلف باختلاف سعة العوامة كما يتغير سمكه بتغير المسافة بين كل اسطوانتين متقابلتين تضغطان على الزجاج المسحوب يمتاز الزجاج المسطح المنتج هنا باستواء سطحه وتماثل سمكه وعدم وجود زوائد او عيوب سطحية كما انه لا يتعرض للإجهادات الداخلية اذ يتم تخميره بالتدريج أثناء سحبه ولكن عيبه عدم التجانس لوجود شرائط زجاجية لا يمكن تلافيها، تصل درجة حرارة الزجاج عند بداية السحب الى 1000 ^{o}C ثم تنزل حتى تصل الى درجة حرارة التبريد في ارتفاع (7 m) اذ يتم السحب والتخمير وتكون هنا لزوجة الزجاج مهمة ليكون سهل التطويع والتشكيل ويتم التحكم بالبرودة والتطرية بوساطة تيارات ماء بارد او هواء ساخن تحيط بمصهور الزجاج خلال سحبه من العوامة حتى ارتفاع 1.125 m من ثم يتم ثنيه بزاوية قائمة وتتم هذه العمليات في ماكينة اسمها (فوركولت) صممت خصيصا لهذا النوع من الزجاج ثم سميت ماكينة (آلان كولبورن) لإنتاج زجاج مسطح خالي من العيوب، شكل (5-19).



شكل 5-19 طريقة السحب العمودي

ويمكن تصنيف منتجات ألواح الزجاج كالآتي:-

1- الألواح الزجاجية الصافية
2- الألواح الزجاجية الصقيلة
3- الزجاج العائم
4- الزجاج المدلفن (المسبوك)
   a- زجاج المصبوبات الخشن
   b- زجاج الدلفنة المشكل
   c- زجاج الكاتدرائية
   d- الزجاج المسلح
   e- زجاج المصبوبات المدلفن
5- ألواح زجاج السحب اليدوي
6- الزجاج القابل لامتصاص الحرارة
7- الزجاج العاكس للحرارة والضوء
8- الزجاج المصنع بالعمليات الصناعية المتعاقبة
   a- الزجاج المقسى
   b- زجاج الوقاية

c- الوحدات الزجاجية المانعة للتسرب

d- زجاج التغليف

e- الزجاج الرملي(مرشوش بالرمل)

f- زجاج المرآة(الزجاج المنحني) و(زجاج الحافات المائلة)

4-5 زجاج الصب Cast Glass

هو محاولة لصناعة الزجاج المسطح وتلافي العيوب الناتجة من طريقة صناعة الزجاج المسطح القديمة لتلافي كثرة الفجوات الهوائية نتيجة التعرض الى التبريد والتسخين لأكثر من مرة وصغر مساحة الزجاج الناتج ومحدودية حجمه وظهور تموجات السطح وعدم استواء سطحه، يتم صهر هذا النوع من الزجاج في بوادق ثم يسكب على قاعدة صب تدور على لوحات باستعمال اسطوانات ثقيلة وتكون طريقة الصب في سكب الزجاج المصهور على المنضدة، شكل (5-20).

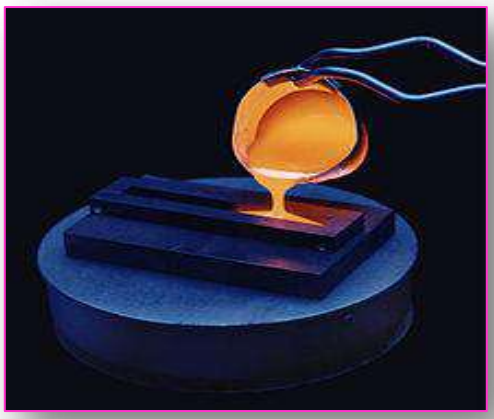
وتجرى العملية كما يلي

1- يجهز قرص من الحديد بالمساحة المراد إنتاجها ووضعها على منضدة خاصة ثم يصب الزجاج من البوتقة مباشرة على القرص الحديدي و الضغط عليه من أعلى بدرافيل من الحديد الساخن. إلا ان هذه الطريقة أيضا لم تعطي النتائج المطلوبة مما اوجد دافعا للتفكير بأسلوب آخر.

2- إن صب الزجاج يكون بين درفيلين متحركين يتم استقباله على قرص من الحديد المثبت على منضدة ذات عجلة متحركة بحيث يتم سحب المنضدة بما عليها من زجاج في اتجاه حركة الصب، ويمكن ان يصنع منه الزجاج المسلح بالأسلاك وذلك بإدخال شبكة سلكية في الزجاج قبل عبوره من بين الاسطوانات.

3- يقطع الزجاج ويوضع في أفران التبريد الخاصة به ونظرا لان الزجاج الناتج هنا ليس مستويا جيدا لذلك تطلب ان تجري عليه عملية تسوية وتلميع بماكنة خاصة ، يمكن صناعة زجاج الصب بسمك (4-20 mm) وبعرض يزيد عن (3.5 m).

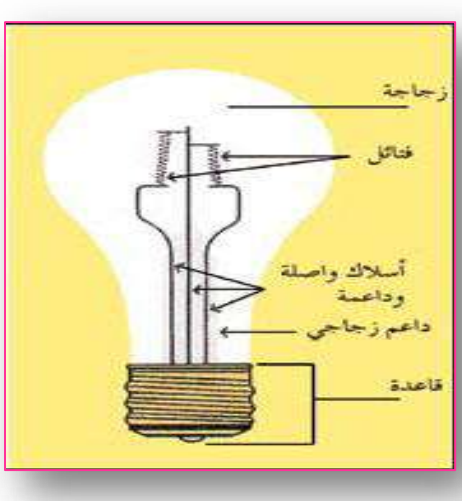
4- إن طريقة الصب الآلية هي في سحب الزجاج آليا على هيئة ألواح مباشرة من المصهور عن طريق جاذبة تغمر في مصهور الزجاج وتسحب لأعلى بالتدريج فتسحب منه شريطا من الزجاج يختلف عرضه حسب طول الجاذبة وهذه الفكرة لم تنجح لان شريط الزجاج كان يضيق شيئا فشيئا بالسحب ليصبح فالنهاية على هيئة مثلث.



شكل 5-20 صب الزجاج بالقوالب

5-5 المصابيح الكهربائية:

ان فكرة ظهور المصابيح الكهربائية لم تكن ترى النور لو لم يكن الزجاج قد اكتشف بعد وذلك لان توماس إديسون لم يكن ليخترع الضوء لولم تكن لديه كرة زجاج يضع فيها هذا الضوء، وفكرة الضوء هي بتسخين سلك رفيع مصنوع من معدن (التنكستن) ويسمى السلك الحراري بالتيار الكهربائي ويحتاج هذا السلك الى مكان مفرغ من الهواء او مغلق كي لا يحترق، ولا بد لهذا المكان المغلق ان يكون شفافا يسمح لخروج الضوء منه ويستمر لامعا وهاجا وكان الزجاج هو المادة الوحيدة التي تكون فراغا محكما لا ينفذ إليه الهواء وتحيط به جدران شفافة لحماية هذا السلك المتوهج، شكل (5-21).



شكل 5-21 المصباح الكهربائي

وقد طلب اديسون من احد مصانع الزجاج ان يعملوا له كرة زجاجية خاصة ليضع فيها السلك الذي ابتكره وذلك عام 1879 م، وهناك أيضا أنواع أخرى لتوليد الضوء يدخل في صناعتها الزجاج الشفاف مثل الشموع ومصابيح الكيروسين وزيت الحوت وضوء الغاز وكل هذه مصادر الطاقة الضوئية يحتمي ضوئها وراء جدران من الزجاج ليحمي اللهب من الريح فيلمع ويتوهج ويستمر.

وقد ساعدت صناعة الزجاج كثيراً من المخترعين للضوء مثل مصابيح السيارات ومصابيح فلاش المصورين ومصابيح الفلوريسنت ومصابيح الشمس وأضواء الإشارات الملونة للسيارات وسكك الحديد وهذا النوع من المصابيح لا ينكسر، شكل (5-22).

شكل 5-22 الفلوريسنت (المصابيح الاقتصادية) والإشارات الضوئية.

وتنتج المصابيح الزجاجية اليدوية من خلال عمال خاصين بصناعة المصابيح وهم يقومون بتحريك آلات النفخ ضمن قوالب متعددة الأشكال والإحجام لينتجوا تلك المصابيح .

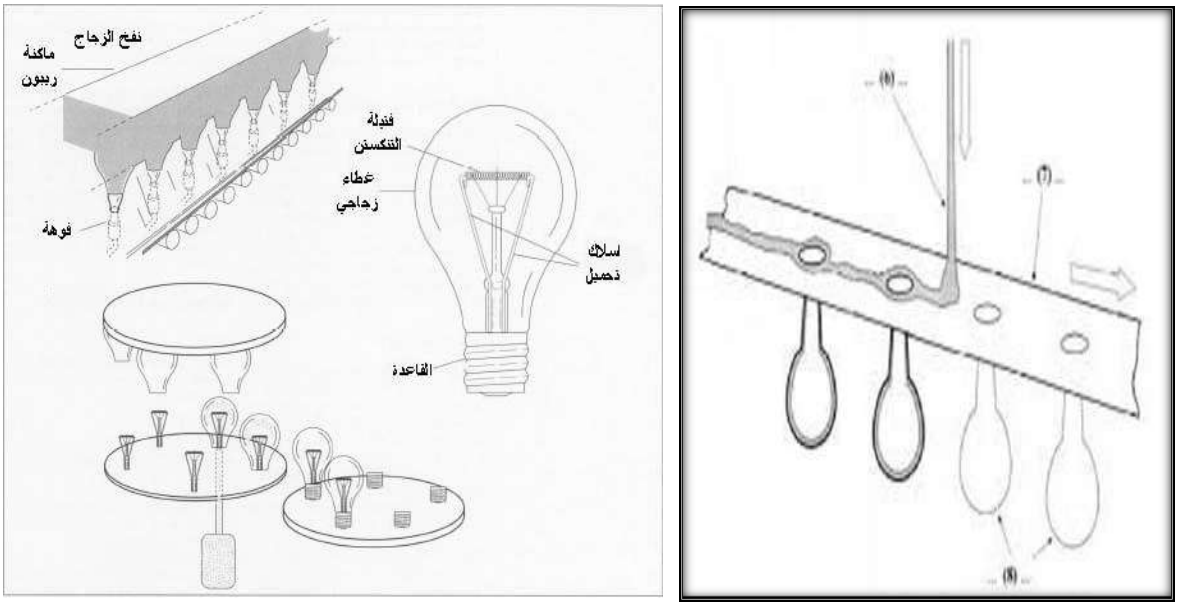
صممت المكائن الأوتوماتيكية لإنتاج المصابيح الكهربائية وقد كانت المصانع سريعة جدا التي يمكن ان تنتج أكثر من (500) مصباح بالدقيقة الواحدة.

عمل تلك المكائن هو بأن ينساب شريط من الزجاج من فتحة في المغذي ثم يمر هذا الشريط بين اسطوانتين وعلى احدى هاتين الاسطوانتين نتوءات دائرية متتالية ينتهي الشريط الى موقع أفقي وعلى طول سطحه العلوي انحناءات رقيقة دائرية متتالية، ثم ينفخ في هذه الانحناءات بوساطة تركيب خاص اذ تشكل بصيلات المصابيح الزجاجية في قوالب النفخ ومن ثم تقطع عند نهاية الحزام الدوار وتدخل في فرن الفخر النفقي.

ترش كثير من بصيلات المصابيح من الداخل بحامض ($HF-NH_4HF_2$) (ثنائي فلوريد هيدروجين الأمونيوم – حامض الهيدروفلوريك) الأبيض والذي ينتشر داخل بصيلة المصباح وبعد ان يشطف بالماء تجفف البصيلات وتفحص للتأكد من صلاحيتها.

لإنتاج المصابيح الكهربائية تستعمل الماكنة المعروفة دوليا ريبون (Maoh-ribbon) اذ يتم تغذية الماكنة من الزجاج من المغذي (Feeder) عن طريق فتحة (Orifice) على شكل شريط سمكه 1/8 Inch تمر على ناقل يتراوح طوله بين (25 – 30 foot) ذي فتحتين لا يتجاوز قطرهما 1 Inch تنزل عليها نوافخ من ناقل فوقها اذ تتم عملية النفخ التي لا تستغرق سوى ثواني بعدها يدخل الانتاج الى افران تلدين حيث العملية الانتاجية بأكملها تتراوح بين 8 الى 12 دقيقه. وتتراوح الطاقات الانتاجية للماكنة بين 400000-1000000 قطعة في اليوم. يوضح، شكل (2-23) مجمل العمليات الانتاجية .

ملاحظة :- inch=2.54 cm (الانج)
Foot = 12 inch (القدم)



الشكل 5-23 مراحل انتاج المصابيح الزجاجية الكهربائية.

هل تعلم؟

تعد مصابيح الفلوريسنت المشعة والمضغوطة من المصابيح الجديدة والموفرة للطاقة بحدود 66.6% إلى 70% على الأقل من تلك المصابيح المعتادة (التنكستن) وفي الوقت نفسه ذات عمر تشغيلي أطول بحدود 8 مرات. فهي تطلق حرارة بنسبة 75% أقل من تلك التي تطلقها مصابيح التنكستن الاعتيادية, وبذلك تقلل من كلفة التبريد والتكيف في الوقت نفسه , كما توفر بنسبة 50% أو أكثر من كلفة الطاقة الكهربائية المصروفة. متوفرة في أشكال و حجوم مختلفة ملائمة لكل الاستخدامات الداخلية أو الخارجية في الهواء الطلق. فالدائرة الالكترونية المدمجة في قاعدتها تعمل على تخفيض استهلاك الطاقة الكهربائية فتنعكس فورا على خفض قوائم الصرفيات الكهربائية,

فإذا عرفنا بأن أغلب الطاقة الكهربائية في البلدان العربية تأتي من المحطات الحرارية لتوليد الكهرباء فيمكن تخيل الوفر الحاصل إضافة إلى الخفض الكبير نسبة إشعاعات الغازات المنبعثة (البيت الزجاجي) مما يساعد على تحسين نوعية الهواء والأجواء المحيطة بنا وما ينعكس ذلك على الصحة العامة. يستعمل في هذه النوعية من المصابيح كمية قليلة من الزئبق وهي أوطأ جدا مما هو مستعمل في العديد من المنتجات الكهربائية الأخرى مثل بطاريات الساعات و في التلفزيونات و الحاسبات وإلكترونيات الأخرى, مع ذلك يجب الحذر عند إتلافها أو أعادة تدويرها وتصنيعها.

6-5 منتجات زجاجية اخرى

1- الالياف الزجاجية:

الألياف الزجاجية وتُسمى أيضاً الزجاج الليفي. وهو زجاج على شكل ألياف دقيقة (خيوط). والألياف الزجاجية المرنة أقوى من الصلب ولا تحترق أو تتمدد أو تصدأ أو تبهت.

تعد الالياف الزجاجية مادة اساسية لعدد كبير من الصناعات المختلفة اذ بإمكان الالياف الزجاجية ان تكون اقوى من الحديد واخف من القطن واكثر مرونة من الحرير . وينتج على شكل خيوط تصل قطرها الى 300:1 من قطر شعر الانسان.

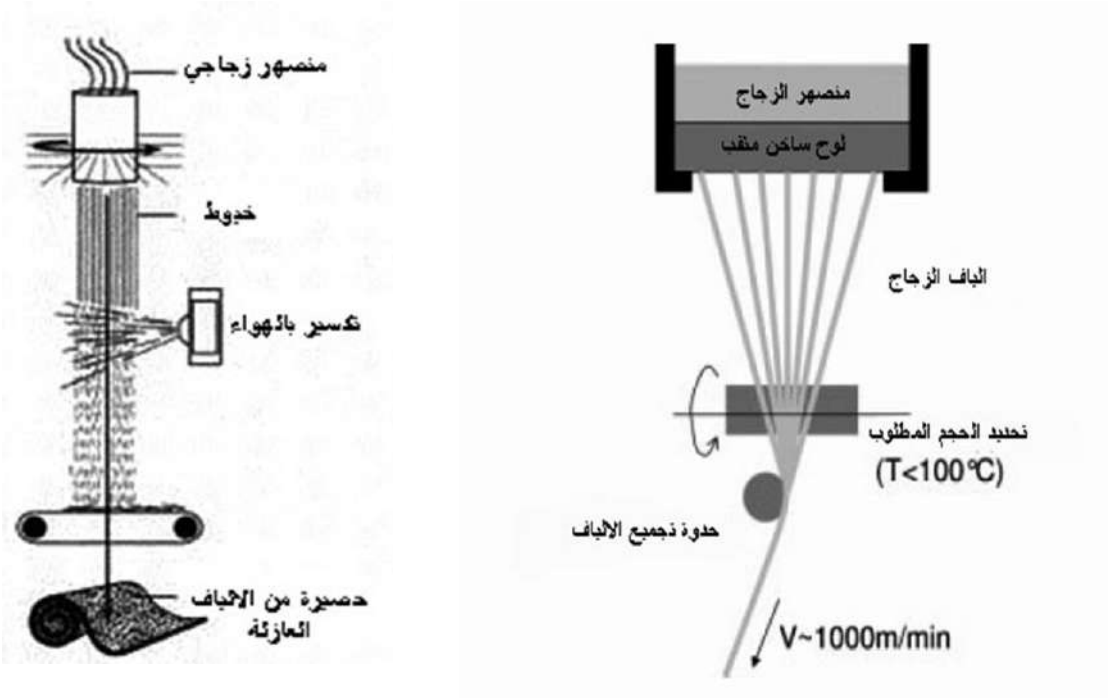
الشكل 5-24 يبين مصنع ينتج الالياف الزجاجية

تتصف الالياف الزجاجية بمقاومتها للرطوبة والمحافظة على مرونتها وقياساتها اضافة الى تمتعها بمواصفات حرارية وضوئية جيدة. ويبين الشكل (5-24) مصنع ينتج الالياف الزجاجية وحسب مواصفات معينة.

تُصْنع هذه الألياف من الرمل، وبعض المواد الخام الأخرى المستعملة في صناعة الزجاج العادي وخيوط الألياف الزجاجية والتي قد تكون مصنوعة بطرق مختلفة. ففي إحدى طرق صناعة الألياف الزجاجية، تُسخن المواد الخام وتُشَكَّل في هيئة قِطَع زجاجية كروية صغيرة، ويُقوم العُمَال بفحصها للتأكد من نقائها. ثم تصهر الكُريات الزجاجية في فرن كهربائي خاص، وينساب الزجاج المصهور، عبر ثقوب صغيرة جداً في قاع الفرن، حيث يسقط على أسطوانة تدور منطوية على مكوكات، كما تُطوى الخيوط على البكرات. ولأن الأسطوانة تدور بسرعة أكبر من السرعة التي ينساب بها الزجاج فإن هناك شَدَّادة، تشد الألياف وتطيلها إلى أن تتخذ شكل حبال دقيقة ثابتة. وتستطيع الأسطوانة أن تسحب 3.2 km من الألياف في الدقيقة الواحدة. ويمكن سحب أكثر من 150 km من الألياف من كرية زجاجية واحدة ذات قطر 16 mm. ويُمكن لف الألياف معاً في شكل خيوط وحبال، كما يمكن غزل الخيوط في نسيج وشرائط وأنواع أخرى من الأقمشة. وهناك طريقة أخرى تسمى عملية الصهر المباشر، وفيها تُحذف خطوات صناعة الكريات الزجاجية. تُصنع كُتل الألياف الزجاجية أو صوف الألياف الزجاجية بطريقة مختلفة نوعاً ما. ففيها يصهر الرمل والمواد الخام الأخرى في فرن، وينساب الزجاج المصهور عبر ثقوب صغيرة في الفرن. ويقابل الزجاج المصهور ضغط عالٍ منفوث من البخار، يسحبه إلى ألياف دقيقة يتراوح طولها بين 20 cm و38cm .

وتُجمَع الألياف على حزام ناقل على شكل كتلة بيضاء شبيهة بالصوف. تدخل الألياف الزجاجية في صناعة أنواع مختلفة من المنتجات، الشكل (5-25).

ولدائن الألياف الزجاجية المقواة متينة جداً وخفيفة الوزن، ويمكن صياغتها في قوالب وتشكيلها وصَبَّها لاستعمالات مختلفة.



شكل 5-25 يبين طرق غزل الالياف الزجاجية وصنع الحصيرة الزجاجية من الالياف

استعمالات الالياف الزجاجية:

يَستعْمِل المصنعون الألياف الزجاجية في صناعة أنواع مختلفة من المنتجات:

1- تغزل الألياف الزجاجية على شكل قماش؛ ليُصنَع منها مُنتجات مثل الستائر ومفارش المناضد. والقماش المصنوع منها لا تتغير ميزاته بعد صبغه، فلا يتجعد ولا يتسخ بسهولة، ولا يحتاج إلى كي بعد الغسل.

2- تُستعْمَل الأنسجة المصنوعة من الألياف الزجاجية في عمليات العزل الكهربائي.

3- تستخدم الألياف الزجاجية على شكل واسع في مرشحات الهواء.

4- تستعمل في العزل الحراري والصوتي، لأن الهواء المحجوز بين الألياف يجعل منها مادة عازلة جيدة.

5- يَستعْمِل المُصنعون لدائن الألياف الزجاجية المقواة في صناعة هياكل السيارات والقوارب، وفي إطارات النوافذ وأجزاء من المَرْكبات الفضائية.

6- تستعمل لتقوية اللدائن وتكون مغزولة أو مخلوطة معها أو مجدولة في خيوط منفردة. وبناء على الشكل المستعمل منها، يتوقف نوع وسعر المنتجات النهائية .

7- تدعيم الانابيب البلاستيكية لمياه المنازل والصرف الصحي، شكل (5-26).

شكل 5-26 بعض تطبيقات الالياف الزجاجية

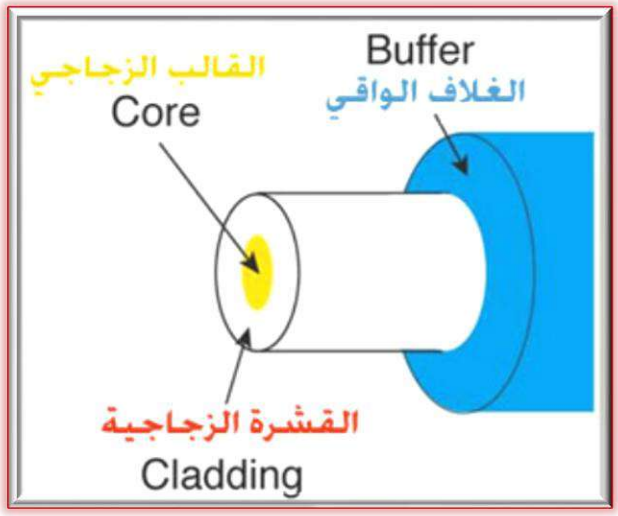
2- الالياف الزجاجية البصرية (Optical fibers)

الألياف البصرية او الضوئية عبارة عن اسلاك من الزجاج النقي وهي رقيقة - بمثل رقة شعر الإنسان - تحمل المعلومات الرقمية عبر مسافات طويلة. تتركب الألياف الضوئية من الزجاج النقي والتي ترتب في حزم تسمى الكابلات الضوئية (Optical Cables) لتستعمل في نقل الإشارات الضوئية لمسافات كبيرة. إذا القينا نظرة فاحصة عن قرب لأحد الألياف الضوئية سنرى، وكما درست سابقاً ، أنها تتكون من الأجزاء الاتية:

1- القلب أو اللب : (Core وهو مركز النسيج (fiber وينتقل الضوء عبره.

2- الغلاف :(Cladding) وهو المادة الخارجية للنسيج والتي تحيط بالقلب ومهمتها أن تعكس الضوء الخارج من القلب وتعيده إليه.

3- غطاء الحماية:(Buffer Coating) وهو عبارة عن غطاء من البلاستيك, ومهمته حماية النسيج الضوئي من الضرر والرطوبة. مئات الآلاف من هذه الألياف الضوئية ترتب في حزم على شكل كابلات ضوئية. وهذه الحِزَم تحمى بوساطة الغلاف الخارجي للكابل وتسمى الغلاف (Jacket)، شكل (5-27).



a- اجزاء الليف البصري b- حزمة من الالياف البصرية (كابل ضوئي)

شكل 5-27 الليف البصري

مراحل تصنيع الألياف الضوئية:

تصنع الألياف الضوئية من زجاج ذي درجة نقاء عالية جدا بحيث تقل الشوائب فيه أو قد تنعدم وتمر عملية التصنيع بعدة مراحل كما يأتي:

المرحلة الأولى : إنتاج اسطوانة زجاجية غير مشكلة.

تنتج الاسطوانة الزجاجية غير المشكلة المستعملة في عملية التصنيع من خلال عملية تسمى (ترسيب الابخرة الكيميائية) اذ يمرر الأوكسجين على محلول من كلوريد السيليكون ($SiCl_4$) وكلوريد الجرمانيوم ($GeCl_4$) وفي وجود مجموعة أخرى من الكيماويات. يتحكم الخليط الناتج في الخواص الفيزيائية والضوئية للزجاج (معامل انكسار الزجاج ومعامل التمدد وكذلك في درجة انصهار الزجاج). تمرر الأبخرة المتصاعدة داخل أنبوب من الكوارتز مثبت على ماكينة دواره عندما تدور يتحرك أسفل منها لهب فتتسبب الحرارة العالية في تفاعل السيليكون مع الجرمانيوم مع الأوكسجين لتكوين أوكسيد السليكون (SiO_2) وأوكسيد الجرمانيوم (GeO_2) ما تتسبب الحرارة أيضا في ترسيب أوكسيد السليكون و أوكسيد الجرمانيوم على جدار الأنبوب من الداخل فيندمجان معا لتكوين الزجاج الخام المطلوب اذ يمكن التحكم بدرجة نقاء و صفات الزجاج المتكون من خلال التحكم بالخليط .

المرحلة الثانية : سحب الألياف الضوئية من هذه الاسطوانة الزجاجية.

يتم سحب الألياف من اسطوانة الزجاج غير المشكلة بوضعها في أداة السحب حيث ينزل الزجاج الخام في فرن كاربوني درجة حرارته تبلغ حوالي (1900 – 2200 °C)، شكل (5-28). فتبدأ المقدمة في الذوبان حتى ينزل الذائب بتأثير الجاذبية و بمجرد سقوطه يبرد مكونا الجديلة الضوئية. هذه الجديلة تعالج بتغليفها المتتابع خلال سحبها بوساطة (Tractor) مع استمرار قياس نصف قطر الليف الناتج باستعمال ميكرومتر ليزري. تبلغ سرعة إنتاج الألياف الضوئية من الاسطوانة الزجاجية الخام من10الى20 متر في الثانية.

المرحلة الثالثة : اختبار الألياف الضوئية.

يتم في المرحلة الاخيرة اختبار الألياف الضوئية من حيث:

1- معامل الانكسار.

2- الشكل الهندسي من حيث قطر القلب و الطبقة المحيطة التي لابد أن تكون متساوية السمك على كل الجوانب.

3- تحملها لقوى الشد.

4- تشتت الإشارات الضوئية منها

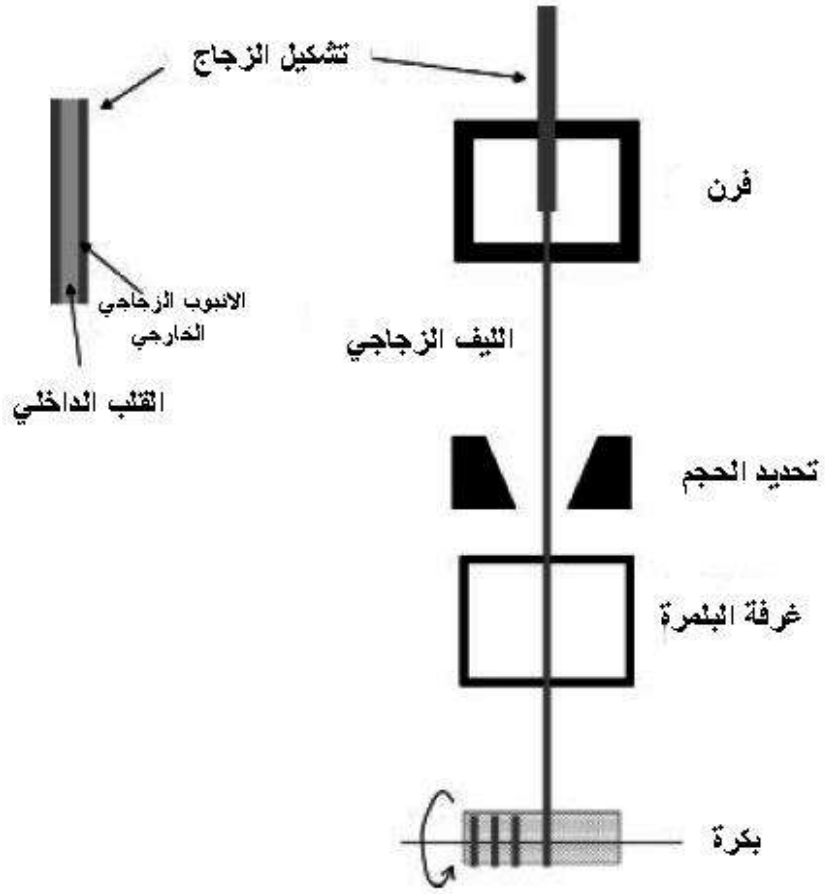
5- سعة حمل المعلومات (سعة إرسال) وهى عدد الإشارات التي يمكن أن يحملها الليف الضوئي في الوقت نفسه .

6- تحملها لدرجات الحرارة والرطوبة

7- إمكانية توصيل الضوء تحت الماء

8- اضمحلال الموجات بداخلها وهى مقدار الفقد في الاشارة الضوئية بالنسبة للطول الموجي للاشارة خلال مسافة الإرسال.

بالرغم من أن استعمال الألياف الضوئية لنقل المعلومات عبر المسافات الطويلة استحوذ على معظم اهتمام الشركات المنتجة لكابلات الألياف الضوئية إلا أنها استعملت أيضا لنقل المعلومات عبر المسافات القصيرة اذ أمكن توصيل الكمبيوترات الرئيسية بالكمبيوترات الطرفية.



شكل 5-28 مخطط تصنيع الالياف البصرية

تنقسم الألياف الضوئية الى نوعين أساسيين:

1- الألياف ذات النمط المفرد (Single-Mode Fiber): وتكون ذات قلب صغير يصل قطره الى (9 µm) وينقل إشارات الليزر تحت الحمراء ذات الطول الموجي يتراوح ما بين $(1300 - 1550\ nm)$

2- الألياف متعددة النمط (Multi-Mode Fiber)

وهذه يكون القلب فيها ذا قطر أكبر يصل الى 62.5 µm, وتقوم بحمل ونقل الاشارات تحت الحمراء التي يتراوح طولها الموجي ما بين(850 – 1300 nm) والصادرة من الصمامات الالكترونية الباعثة للضوء (Light Emitting Diodes LED) بعض الألياف يمكن ان تصنع من البلاستيك ولكن الجزء الاساس فيها (Core) ذو قطر كبير نسبيا (1 mm), وتصلح لنقل الضوء الذي يمكن

رؤيته فقط الذي طوله الموجي اكبر من 650 nm, وهو الضوء المنبعث من الصمام الإلكتروني (LED) ولا يصلح هذا النوع من الألياف لنقل الضوء الليزري (المنبعث من جهاز انبعاث الليزر). وهنا يمكن ان نتساءل كيف يمكن لهذه الألياف ان تنقل الضوء والمعلومات الرقمية؟

كيف تعمل الألياف الضوئية؟

لنفترض اننا نريد ان نرسل حزم من الأشعة الضوئية عبر مسار ما, يمكننا ذلك بأن نوجه الضوء عبر هذا المسار بما أن الضوء يسير عبر خطوط مستقيمة. المشكلة التي يمكن ان تصادفنا هي اذا كان هذا المسار يحتوي على نقطة انعطاف , ما العمل في مثل هذه الحالة؟ الحل أن نضع مرآة عند نقطة الانعطاف (Bending) تلك لكي تعكس الضوء عند هذه الزاوية وتعيده الى المسار. كيف إذا كان المسار يحتوي على العديد من نقاط الانعطاف؟ في هذه الحالة يلزمنا مرآة عند كل انعطاف, وتوضع المرآة بزاوية معينة لكي تسمح بإعادة الضوء الى القلب عند كل زاوية على طول المسار. هذا بالضبط ما يحدث داخل الألياف الضوئية. فالضوء يسير خلال اللب (المسار) مع قفزات منتظمة من الغلاف (المرآة) عند نقاط الانعطاف حسب ما يسمى بالانعكاس الداخلي الكلي (Total Internal Reflection) ، ولأن الغلاف لا يمتص أي من الإشارات الضوئية المتنقلة داخل القلب, فإن الإشارات الضوئية يمكن أن تنتقل لمسافات بعيدة. لكن بعض هذه الإشارات تضعف داخل الألياف بسبب عدم نقاوة الزجاج وتلوثه مثلا والمدى الذي يمكن أن تضعف فيه هذه الإشارات يعتمد على درجة نقاوة الزجاج الذي تصنع منه الألياف وأيضا يعتمد على الطول الموجي للضوء المرسل خلاله (مثلاً 850 nm يضعف بمقدار يتراوح بين (75%-60%) لكل (km) و بعض الألياف يضعف الإشارة فيها بمقدار اقل (10%) لكل (km) عند الطول الموجي 1550 nm.

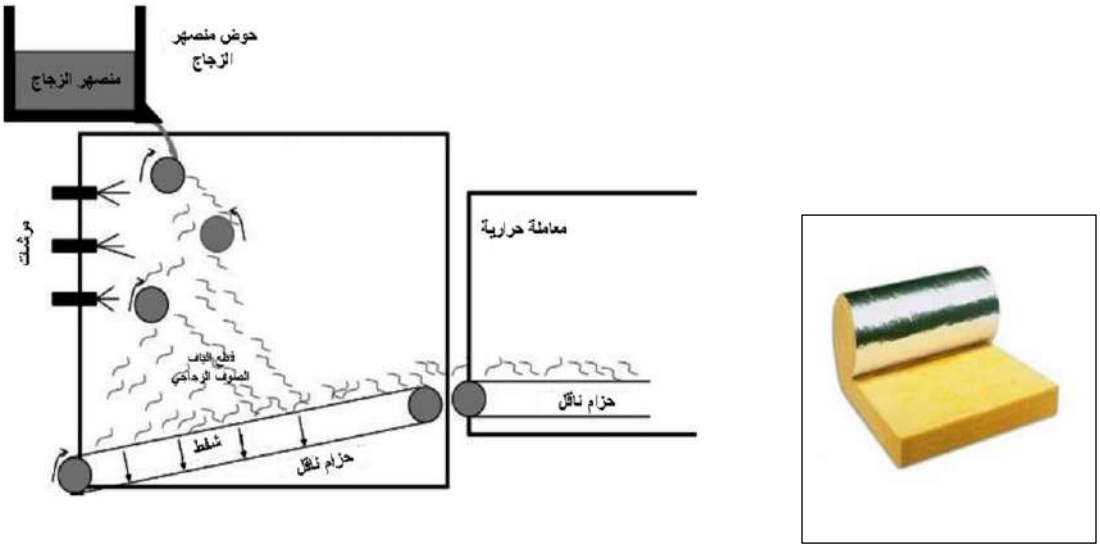
3- الصوف الزجاجي:

هي مواد عازلة حراريا تصنع من ألياف الزجاج الملبدة على وجه مشابه لألياف الصوف. ينتج الصوف الزجاجي بشكل ألواح أو شرائح ملفوفة ذات خصائص عزل حراري وميكانيكية مختلفة.

الصوف الزجاجي هو مادة ناتجة عن طريق صهر الزجاج ثم تحويله إلى ألياف لا يزيد قطرها عن 10 µm بطريقة الطرد المركزي ويتم تشكيل الالواح شبه الجاسئة بإضافة مواد رابطة الي الياف الصوف الزجاجي وقد تحتوي هذه الالواح علي اغلفة للحماية (من رقائق الالومنيوم العاكسة أو رقائق البولي ايثيلين أو الورق المقوي المقاوم للاشتعال) ويتوافر الصوف الزجاجي في عدة صور تستعمل للعزل الحراري مثل: الالياف السائبة ، الحصائر المحاكة ،اللباد، الالواح الجاسئة.

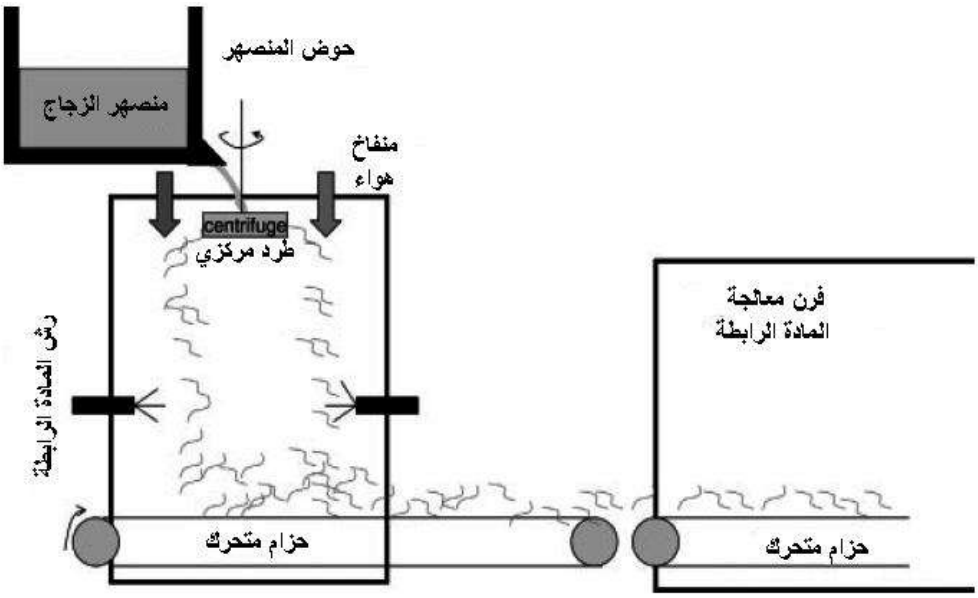
يتم تصنيع الياف الصوف الزجاجي وذلك بصب منصهر الزجاج على اسطوانات دوارة فتتطاير الياف زجاجية صغيرة يتم رشها بمادة رابطة من خلال مرشات جانبية وبعدها تسحب (تشفط) هذه القطع الصغيرة وتتجمع على حزام ناقل وتتجمع على شكل الواح تدخل الى فرن حراري لأجراء المعاملات الحرارية. الشكل (5-29) فهو يوضح مصنع انتاج الصوف الزجاجي.اما الشكل (5-30) يوضح الية تصنيع الصوف الزجاجي.

شكل 5-29 مصنع انتاج الصوف الزجاجي



شكل 5-30 مخطط تصنيع الصوف الزجاجي بطريقة الاسطوانات الدوارة

شكل (5-31) يوضح مخطط طريقة الطرد المركزي لتصنيع الصوف الزجاجي.



شكل 5-31 مخطط تصنيع الصوف الزجاجي بطريقة الطرد المركزي

7-5 عمليات ما بعد الانتاج (Processes After Production):

1-7-5 التلدين والتقسية (Annealing and Tempering):

بعد تشكيل الالواح الزجاجية بدرجات حرارة عالية يجب ان تبرد في درجة حرارة الغرفة بأسلوب يتم من خلاله التخلص من الاجهادات ويسهل عملية القطع. وفي حالة القناني والاواني المنزلية يستوجب ان تكون خاليه من الاجهادات الداخلية بدرجة كافية تمنع تعرضها للكسر الفجائي . اما زجاج البصريات فيبرد بأسلوب يمكنه من المحافظة على معامل الانكسار والتخلص من الاجهادات الداخلية التي تؤدي الى حدوث تشوهات اثناء عملية التجليخ والصقل كما يجب الحفاظ على استقرارية خواصها وقياساتها لمدة طويله اذ ان استقرارية الخواص الفيزياوية والاجهادات الداخلية تحدث بدرجات حرارة ما بين ^{o}C 93-18.

هناك نوعان مختلفان من الزجاج المعامل حرارياً وهما:

1 -الزجاج المقوَّى(الملدن) حرارياً Heat Strengthened Glass .

2 -الزجاج المقسّى (الزجاج الملدن بالكامل) Fully Tempered Glass .

1 -الزجاج المقوَّى (الملدن) حرارياً :

تتعدد وتتنوع استعمالات الزجاج المقوَّى حرارياً في الأسقف والأبنية المرتفعة وهو نوع من أنواع الزجاج المعالج حرارياً ينتج بتسخين الزجاج العادي إلى درجة قريبة من درجة انصهاره ، ثم يتم تبريده بطرق خاصة.

وتتم عملية التبريد التدريجي (عملية التلدين) عن طريق افران التلدين والتي تحمى بوساطة الغاز او الكهرباء ويفضل الكهرباء للمحافظة على نظافة المنطقة والمنتوج والسيطرة على التدرج الحراري.

يعد الزجاج المقوَّى حرارياً الخيار الأمثل للاستعمال في الأسقف والمظلات الزجاجية , كما ينصح باستعماله في الطوابق العلوية للأبنية المرتفعة والشاهقة, وتحديداً من الطابق الرابع إلى الطابق الأخير. و غالباً ما يكون الزجاج المقوَّى حرارياً ضمن وحدة زجاج مجلتن أو وحدة زجاج مزدوج عازل.

لهذه النوعية من الزجاج عدة مميزات منها :

- القدرة على مقاومة الكسر بدرجة تعادل ضعف مقاومة الزجاج العادي كما أن ميله للتحطم أقل بكثير مما يجعله الأكثر طلباً.

- في حال أي صدمة للزجاج المقوَّى حرارياً وتكسره فإنه يتحوَّل إلى عدد قليل من القطع الكبيرة، وذلك بسبب الإجهادات المنخفضة المطبقة عليه .

- كما أن الزجاج المقوَّى حرارياً في حال تكسره يبقى عالقاً في الإطار المحيط به من دون أن يسقط إذا كان قد تم تركيبه بالطريقة الصحيحة.

مزايا الزجاج المقوى بالمقارنة مع الزجاج العادي:

1. الزجاج المقوى يتمتع بالأداء البصري نفسه كغيرة من الزجاج الصلب. كما يتمتع ايضاً بالقوة الميكانيكية العالية و مقاومة الصدمات بالإضافة إلى قوة انحناء جيدة. لتوضيح ذلك ، القوة الميكانيكية للزجاج الصلب 3/5 مرة أكبر من الزجاج الصلب العادي، وقوة الانحناء فيه 2/5 مرة أكبر من الزجاج المسطح العادي.
2. الزجاج المقوى قادر على الحفاظ على ثبات الاختلاف في درجة الحرارة بين 250 ^{o}C و 320 ^{o}C

3. السلامة هي أفضل ميزة في الزجاج المقوى. هذا المنتج عبارة عن زجاج آمن، فعند انكسار هذا الزجاج فإن القطع الشمعية فيه تحمي الناس من الإصابة.

الشكل (5-32) يوضح بناية مغلفة بالزجاج و درج زجاجي مقوى حرارياً.

شكل 5-32 بناية مغلفة بالزجاج ودرج زجاجي مصنعين من الزجاج المقوى حراريا.

2 -الزجاج المقسّى (الزجاج الملدن بالكامل):

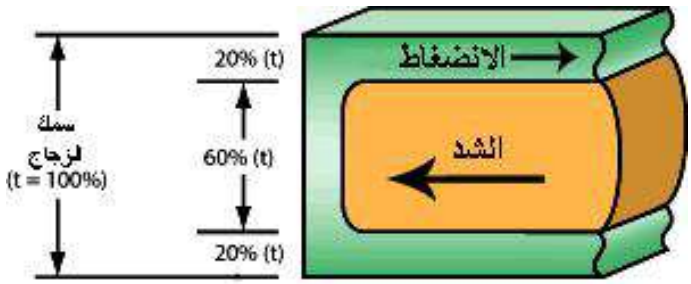
من خلال الدراسات والأبحاث المتخصصة في تطوير صناعة الزجاج في عدد من الدول المتقدمة توصلوا إلى إنتاج نمط من الزجاج أكثر أماناً يسمى زجاج الأمان المقسَّى.

تُجرى عملية تقسية الزجاج بتسخين الزجاج العادي إلى درجات حرارة عالية قريبة من درجة انصهاره ($660\ ^oC$) ثم يتم تبريد الزجاج بسرعة عالية نسبياً وينجم عن هذه العملية تغيير الترتيب الذرّيّ لجزيئاته مما يجعلها مترابطة بعضها ببعض.

الهدف الاساس من عملية تقسية الزجاج هو زيادة الصلادة في السطوح الخارجية بحيث تزداد مقاومتها للصدمات الميكانيكية والحرارية ويتم ذلك بالتبريد الفجائي للمنتوج في معدات التقسية فيما يكسبه صلادة اقوى من صلادة المنتوج الاعتيادي من خمس الى عشر مرات. ذلك عن طريق ضخ الهواء بطرق مختلفة بوساطة نوزلات بعضها متحركة واخرى ثابته في حين يتحرك المنتج ليتسنى شمول المناطق كافة

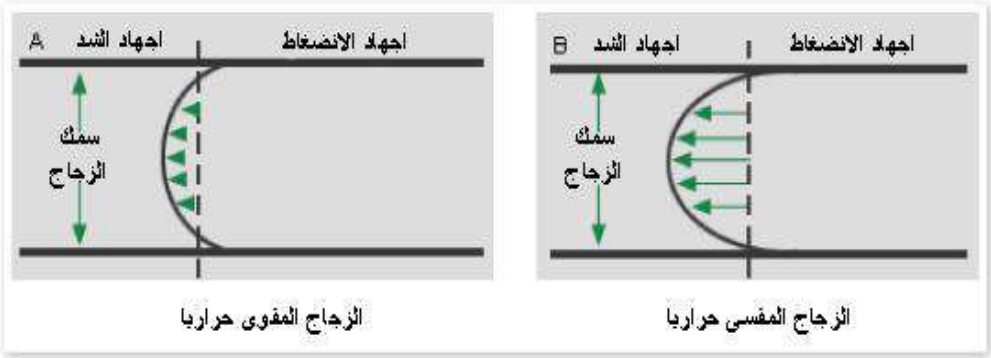
وبصورة متساوية واحيانا تكون النوافخ على شكل مرشات انبوبية. وتتم حاليا اجراء كافة العمليات بصورة الية مبرمجة.

زجاج الأمان المقسَّى يتيح داخل البنايات التمتع بضوء النهار، الأمر الذي يلقى اهتماماً كبيراً من المهندسين المعماريين في بناء المجمعات التجارية والمولات الحديثة الطراز. كما يستخدم الزجاج المقسَّى في الطوابق الثلاث الأولى من المبنى وذلك لان هذا النوع من الزجاج يتحطم الى قطع صغيرة عند تعرضه الى صدمات خارجية وذلك بسبب اجهادات القص الداخلية الحاصلة نتيجة اجهادات الانضغاط على سطح الزجاج وتمتد الى 20% من سمك القطعة الزجاجية من السطح العلوي و20% من الاسفل والمتبقي 60% من سمك القطعة يكون معرض لإجهاد الشد داخل القطعة، كما موضح في الشكل (5-33).



شكل 5-33 اجهادات الانضغاط والشد الحاصلة نتيجة تقسية الزجاج حرارياً.

تظهر اجهادات الشد داخل القطعة الزجاجية نتيجة المعاملات الحرارية فتكون قيمتها كبيرة في حالة الزجاج المقسى بالمقارن مع الزجاج المقوى حرارياً، كما موضح في الشكل (5-34).



شكل 5-34 اجهادات الشد في الزجاج المقسى والزجاج المقوى حرارياً.

- **وأهم ميزات هذا الزجاج هي:**

1 - يمكن للزجاج المقسَّى تحمل صدمات ميكانيكية أشدّ ممّا يتحمله الزجاج الملوّن العادي بـ 5 - 10 مرات.

2 -عندما يتكسر الزجاج نتيجة صدمة شديدة, يتحول الى عدد كبير من الشظايا صغيرة التي لا تجرح ولا تؤذي أحداً (لهذا السبب يسمى هذا الزجاج زجاج أمان مقسَّى). وخلافاً للزجاج المقسَّى، فإن الزجاج العادي يتناثر عند تكسره إلى شظايا حادة جارحة بالغة الضرر.

3 -يمكن للزجاج المقسَّى تحمل فرق في درجات الحرارة الداخلية والخارجية, تصل إلى ^{o}C 300 , في حين لا تتجاوز الفروق المقابلة في الزجاج قبل تكسره مباشرةً ^{o}C 70.

4 -يمكن تقسية أنواع مختلفة من الزجاج: الشفاف, والملوّن, والعاكس, والمعالج كيمائياً، والمطبوع, وغيرها .

5 -يمكن أن يكون سمك الزجاج الذي سيُقسَّى بين 4 mm و 19 mm .

6 -مساحة ألواح الزجاج التي يمكن تقسيمها تصل إلى (2440x4100 mm).

أهم استعمالات زجاج الأمان المقسَّى هي:

1. في مجال البناء

- الواجهات الكبيرة.
- واجهات العرض, الأبواب الداخلية والخارجية في المراكز التجارية.
- غرف الدوش وأبواب البانيوهات، شكل (5-35).
- التقسيمات الداخلية للمكاتب والوحدات السكنية.
- الشرفات وسياج الحدائق.
- الأبواب والنوافذ الداخلية والخارجية في الأبنية الضخمة العالية.
- (فنادق, مستشفيات, سفارات, مطارات, الخ...) .

شكل 5-35 استعمالات الزجاج المقسى في الزجاج الخلفي للسيارات وشاورات الحمامات.

2- في مجال الصناعة

- أبواب أفران الغاز .
- رفوف وأبواب البرادات والمجمّدات.
- أفران الميكروويف, المدافئ الكهربائية.
- السيارات ، شكل (5-35)، الباصات, والمكروباصات, والقطارات, وبعض وسائل النقل .

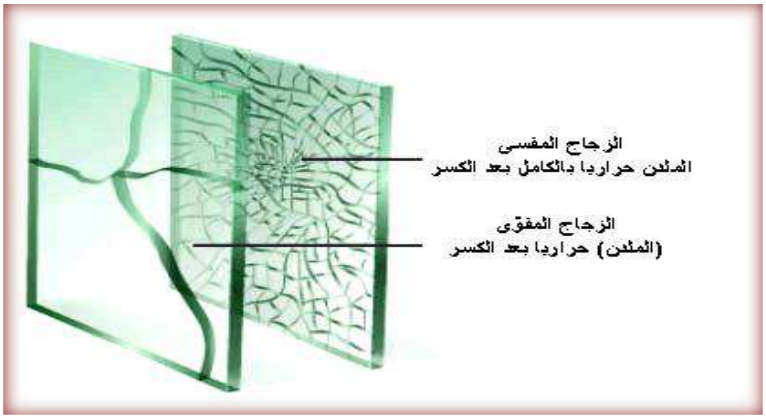
3 -في مجال الديكور

- الأثاث ، طاولات , مكاتب , خزائن .
- التزيينات الداخلية للمكاتب والوحدات السكنية .
- الديكورات والتزيينات المختلفة .

4- تطبيقات أخرى

- الوقاية من الحريق .
- التحكم في مستويات الحرارة والضجيج.
- مقاومة الرصاص (بعد اتخاذ إجراءات إضافية) .
- جميع التطبيقات التي يُستعمل فيها الزجاج المزدوج.

الشكل (5-36) يوضح نمط الكسر الحاصل نتيجة الاجهادات الخارجية المؤثرة على كلا النوعين من الزجاج.



شكل 5-36 نمط الكسر في الزجاج المقسى والمقوى.

5-7-2 الزخرفة (Decoration):

تزامنت زخرفة المنتوجات الزجاجية مع صناعتها منذ القدم . تنوعت وتطورت جيلا بعد جيل الى ان وصلت الى ما عليه اليوم اذ يتم زخرفة الزجاج بطرق عديده مستعملين ادوات ومواد مختلفة منها يدويه واخرى نصف آليه واخرى آليه. ومن الطرائق الشائعة في الزخرفة هي:-

1- الرسم والتلوين (Drawing and Coloration):

يعد فن الرسم على الزجاج والزجاج المعشق من الفنون القديمة التي كانت تستعمل لإضافة رونق مميز للزجاج عندما تمر اشعة الشمس من خلاله ليعكس الوان رائعة الجمال على الفراغ المعماري.

قديما كانت تستعمل اساليب معينة للرسم وإظهار اللوحات الفنية على الزجاج والمرايا ومع التطور وزيادة الاهتمام بهذا الفن ظهرت اساليب اكثر سهولة للتعامل مع اللوحات الفنية الزجاجية وشاعت التطبيقات العملية المنفذة بفن الرسم على الزجاج لتشمل الديكورات الداخلية للمنازل والمحلات التجارية و العديد من المكملات المنزلية والهدايا المختلفة، شكل (5-37).

شكل 5-37

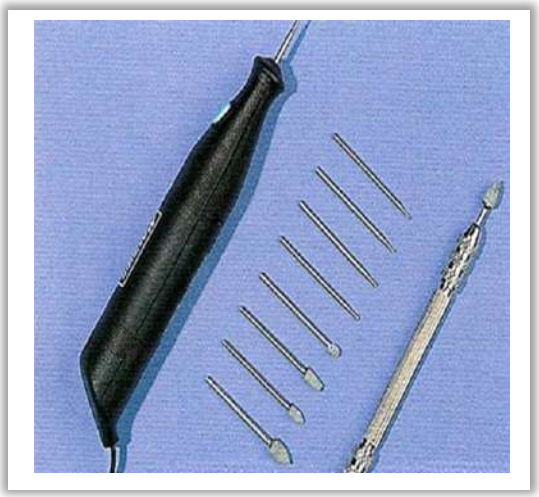
شكل 5-38

يستعمل في تلوين الزجاج اصباغ ذات درجات حراره واطئة من الصعب تحديدها اذ انها تعتمد على خواص كل نوع من انواع الزجاج وعلى اللون الذي يصنع به، شكل (5-38). يتم تثبيت الالوان بطريقة التبريد التدريجي وحيث يضمن ثباتها ولمعانها وعدم تشققها ومن الاصباغ المستعملة حديثا:-

1- ناعم جدا ^{o}C (452-537) يحتوي على نسبة عالية من الرصاص (75%- 80%) مقاوم.
2- ناعم ^{o}C (538-582) مقاوم وتستعمل هذه في الاواني المنزلية.
3- اصباغ مقاومة للحوامض والكبريت ^{o}C (593-604).
4- اصباغ مقاومة للقواعد ^{o}C (593-615) يستعمل في القناني الخاصة للاستعمال المتكرر بعد الغسل مثل قناني الحليب والمشروبات الغازية .....الخ .
5- اصباغ ذات احتراق عالي ^{o}C (648-704) تستعمل المنتوجات التي تجري عليها عمليات التقوس والتقسية بحيث تكون عادة فترة التثبيت قصيره من (10-20) دقيقة وهناك انواع اخرى من الاصباغ المعدنية البراقة واللماعة على شكل محاليل بنية اللون مثل الذهب والفضة والبلاتين والبلاديوم تترك بعد الاحتراق الالوان المتميزة بها. يتم عملية تلوين المنتوجات بالأصباغ بعدة طرق منها يدويه بوساطة الفرشاة شكل (5-39) او بوساطة الرش (Spray) او الشاشة (Screen) يدخل بعدها الى افران التلدين اذ يتم عملية التبريد التدريجي لغرض تثبيت الالوان.

الشكل 5-39 انواع الفرشاة المستعملة في تلوين الزجاج.

2- القطع (cutting):



شكل 5-40 ادوات الحفر الالية

تتم عملية الحفر على المنتوجات الزجاجية وخاصة الكريستالية بشكل مختلف مما يتطلب مهارة عالية وممارسة طويلة حيث يتم في البداية التخطيط الاساس للنقشة المطلوبة بوساطة الوان خاصة على ضوئها تتم عملية الحفر بوساطة احجار خاصه للقطع ذات حافات مختلفة علما انه يوجد حاليا مكائن نصف آلية تقوم بأعمال الحفر على المنتوجات ذات الاستهلاك العالي، شكل (5-40).

3- التثليج (Frosting):

تتم عملية الزخرفة بطريقة التثليج عن طريق تغطية المنطقة المراد زخرفتها بمعجون خاص معروف تجاريا (Back Frost) او (Flake Snow) حيث بعد رفعها تترك اثار تشبه الثلج على المنتوج وحسب النقشة التي يتم اختيارها . عند التعامل مع مثل هذه المعاجين يجب استعمال الكفوف المطاطية ومفرغة الهواء.

4- السفع بالرمل (Sand Graving):

شكل 5-41 تشكيل لوحة من الزجاج بالسفع بالرمل.

يتم زخرفة المنتوج بوساطة السفح بالرمل اذ تترك اثار بأعماق مختلفة وحسب النقشة المختارة علما بأن المنتوج يغطي بطبقة من رقائق الرصاص او ورق مقوى. يعطى الزجاج سطحًا نصف شفاف، وغالبًا ما يكون هذا السطح أكثر خشونة من ذلك الذي يتم الحصول عليه عن طريق الحفر. وينفخ الهواء المضغوط رملاً بذرات خشنة ترتطم بالزجاج، وكثيرًا ما يتم ذلك من خلال قالب زخرفي مطاطي يشكل تصميمًا خاصًا ، شكل (5-41).

وكثيرًا ما تكون البطاقات على أوعية الكيميائيات محكوكة بالرمل. وكثيرًا ما تزخرف أواني الإضاءة والأفران والأطباق والنوافذ بالسفع (الحك) الرملي.

5- الحفر الكيميائي (Etching):

يمكن حفر الزجاج باستعمال حامض الهيدروفلوريك ويتبع لذلك الطريقة الآتية :

يغطى اللوح الزجاجي أو الوعاء المراد الحفر عليه بطبقة من شمع النحل أو شمع البرافين . يحفر التصميم أو الشكل المراد حفره في طبقة الشمع بوساطة سكين مدبب الطرف ثم تزال الأجزاء الزائدة من الشمع . يعمل إفريز من الشمع حول مكان الحفر لمنع حامض الهيدروفلوريك من الانسكاب خارج مكان الحفر ثم يغطى الشكل المحفور بطبقة الشمع بحامض الهيدروفلوريك ويترك لمدة ثلاث أو أربع ساعات. يغسل الزجاج جيدا بالماء الساخن ثم تزال طبقة الشمع باستعمال زيت التربنتينا ثم تغسل قطعة الزجاج جيدا بالماء.ويمكن استعمال حامض اقل خطورة من حامض الهيدروفلوريك وهو حامض الهيدروفلوروسيليسك (hydrofluosilicic acid) (H_2SiF_6) .

تحذير!!!!!

يجب مراعاة الحرص الشديد في استعمال حامض الهيدروفلوريك نظراَ لخطورته الشديدة إذ يسبب حروقا ولا يسهل اندفاعه عند ملامسته للجلد كما أنه سام لذلك فبدلا من استخدام الحامض مباشرة يمكن حك الشكل المحفور في طبقة الشمع بمسحوق الفلوروسبار (فلوريد الكالسيوم) ثم إضافة حامض الكبريتيك المركز فينتج عن تفاعل هاتين المادتين تكون حامض الهيدروفلوريك.

8-5 الزجاج المُعَشَّق:

هو الزجاج الذى يلون خلال تصنيعه بإضافة الأكاسيد المعدنية إلي التركيبة الأساسية له ويتم تقطيعه حسب التصميم المطلوب، سواءً أكان لنافذة أم أي جزء آخر في المبني، ومن ثم يتم تجميع هذا الزجاج وتشكيله بوساطة شرائط معدنية وغالباً ما تكون من الرصاص مع إمكانية استعمال الزنك والنحاس . سمى بالمعشق لإدخال الزجاج داخل قنوات الشرائط المعدنية. ويتم باستعمال هذه الشرائط المعدنية تشكيل وزخرفة الزجاج للحصول علي التصميم المطلوب.. وتتألق هذه الصور أو الزخارف عندما يتسلل الضوء من خلال الزجاج مُحدثًا هذا التأثير. ولذلك عم استعمال الزجاج المُعَشَّق في النوافذ. وحين تكون هذه النوافذ جيدة الصنع تتوهج ألوانها وتبرق عندما تتخللها أشعة الشمس.

بالإمكان تلوين الزجاج العادي، أو معالجته كيمائيًا ليبدو كالزجاج المُعَشَّق، لكن تلوين الزجاج المُعَشَّق الأصلي يتم أثناء صنعه بإضافة أكاسيد فلزية معينة إلى جانب المكونات الأخرى. يضاف أوكسيد الكوبالت مثلاً لصنع الزجاج الأزرق، ويضاف أوكسيد النحاس لصنع الزجاج الأحمر.

يتم تلوين معظم التفاصيل الفنية كالظلال وملامح الوجوه، يدويًا على الزجاج المُعَشَّق الذي يعتمد تأثيره أساسًا على أشكال القطع الزجاجية وألوانها. إضافة الأضلاع المعدنية التي تحدد حوافها بخيوط الرصاص تزيد من تأثير الزجاج المُعَشَّق.

1-8-5 كيف تصنَع نوافذ الزجاج المعشق:

شكل 5-42

يقوم بتصميم معظم نوافذ الزجاج المُعَشَّق فنانون محترفون يتولون تنفيذها في بعض الأحيان، شكل (5-42). وفي أحيان أخرى يقوم بصنعها حرفيون مهرة تحت إشراف الفنان. في البداية، يقوم الفنان بعمل رسم تخطيطي للصورة أو التصميم الذي يراد تنفيذه في النافذة. ويكون هذا الرسم بمثابة أنموذج لرسم تنفيذي بالحجم الطبيعي للنافذة. يقوم الفنان بعد ذلك بتحديد دقيق لأشكال القطع الزجاجية وألوانها على لوحة الرسم التنفيذي بحجمها الطبيعي، وتعرف باسم اللوحة التمهيدية، كما يعين مواقع أضلاع الرصاص والتفاصيل التي يضاف رسمها. وتنسخ اللوحة التمهيدية بالورق الشفاف على ورق سميك.

ويقوم الفنان بعد ذلك بقص الوحدات التي تمثل القطع الزجاجية، ورسمها لتوضيح ألوانها المختلفة. وتوضع كل واحدة من النماذج الورقية على قطعة من الزجاج تضاهيها شكلاً ولونًا. وينسخ شكلها ويحز بقاطع للزجاج، ومن ثم يسهل كسر الزوائد ونزعها على امتداد الخط الذي يمثل حافة الأنموذج الورقي. وبعد إتمام القطع ترص قطع الزجاج المختلفة على اللوحة التمهيدية، في أماكنها المحددة ويقوم الفنان بإضافة التفاصيل كما هي في الرسم التوضيحي.

يتكون الطلاء المستعمل في إضافة التفاصيل لصور الزجاج المُعَشَّق من خليط من مسحوق الزجاج وأوكسيد الحديد، يعجن بالماء والزيت ويعرف باسم المينا. يوفر الماء والزيت السيولة اللازمة للطلاء، ويضفي عليه أوكسيد الحديد لونًا بُنّيًا داكنًا. وبعد عملية الطلاء، تجمع القطع الزجاجية وتعرض للحرارة في

فرن خاص، اذ تقوم الحرارة بصهر مسحوق الزجاج وأوكسيد الحديد وتثبيته على الزجاج الملون. ثم ترص القطع الزجاجية بعد تبريدها على اللوحة التمهيدية مرة أخرى. وبهذا تكون القطع المكونة للنافذة جاهزة للتثبيت بخيوط الرصاص الذي يستعمل لمرونته في الثني والطي بما تقتضيه طبيعة الأشكال. ولخيوط الرصاص جوانب ناتئة على امتداد جانبيها لاحتواء عدة حواف زجاجية وتعشيقها في آن واحد. تثبت نهايات الأكمام باللحام بعد اكتمال التعشيق، كما تعبأ شقوق التفريز بالمعجون منعاً لتشرب المياه، وتكون النافذة جاهزة للتركيب.يتم تركيب النوافذ الضخمة بالاستعانة بهياكل من القضبان الحديدية لتثبيتها، فتقوم القضبان الحديدية بتقسيم فتحة النافذة إلى أجزاء. ومن ثم يتم تقطيع الزجاج ليلائم هذا التقسيم.

5-8-2 نبذة تاريخية عن نوافذ الزجاج المُعَشَّق القديمة:

عرف الزجاج المعشق كحرفة يدوية قديمة توارثتها الأجيال علي مر التاريخ، بعد أن عرف الإنسان مبكراً صناعة الزجاج عندما تمكن قدماء المصريين (الفراعنة) من صناعة ما يعرف بالحواف المصرية وذلك خلال الفترة 2750-2625 قبل الميلاد. كانت هذه الحواف تصنع بطريقة لف شريط رفيع من الزجاج المصهور حول كتلة من الطين غير المتماسك لتشكل إطاراً لهذه القطع الطينية. ولقد كان هذا الزجاج من النوع المصمت (غير الشفاف) والنفيس والثمين جداً. وفي القرن الأول الميلادي، تمكن الرومانيون من استعمال الزجاج في النوافذ ولكن زجاجهم كان غير منتظم التشكيل ولم يكن شديد الشفافية. لقد برع العرب في هذه الحرفة، ويعتقد فريق من الاختصاصيين بأن نوافذ الزجاج العربي ظهرت في النصف الثاني من القرن الثالث عشر الميلادي بينما يري فريق آخر (وهو الأرجح) أن الزجاج العربي ظهر في القرن العاشر الميلادي خلال الحقبة البيزنطية في أوروبا. ولقد كان هناك طراز متميز لنوافذ الزجاج العربي وكان يسميه الغرب الموريش نسبة إلي عرب شمال أفريقيا أو المغاربة.

كانت تتم صناعة هذا الطراز بإحدى طريقتين، إما بطريقة نحت الرخام أو الحجر وإدخال الزجاج في المكان المنحوت أو بطريقة وضع قطع الزجاج في اللياسة قبل أن تجف ويتم تقوية وتدعيم هذه اللياسة بوضع قضبان من الحديد داخلها، وبذلك تكون اللياسة المدعمة بالحديد محيطة بقطع الزجاج. والمثال القائم لهذه الطريقة هو نوافذ المسجد الأزرق في إسطنبول بتركيا. وكانت نوافذ الزجاج العربي في هذه الحقبة مشهورة بتصاميم الزهور.

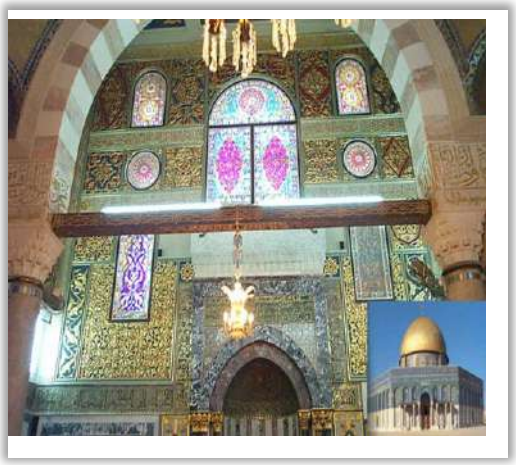
قد عرفت أوروبا نوافذ الزجاج العربي، المتميز بشفافيته والمزين بخيوط ملونة داخله، عندما دخل عرب شمال أفريقيا أو المغاربة إلى إسبانيا مما أتاح للأوروبيين تطوير الزجاج المعشق بما يتماشى مع

فلسفتهم واعتقادهم واحتياجهم . وتطورت صناعة الزجاج المعشق وأصبح استعمال الرصاص والنحاس كبديل للرخام والحجر والليلاسة لتصبح تصاميمه أكثر جمالاً وأفضل جودة وأقل تكلفة.

نشأ فن النوافذ الزجاجية المعشقة في أوروبا الغربية في العصور الوسطى. وقد اتسمت مجمل النوافذ المصنوعة قبل منتصف القرن الثاني عشر الميلادي بصغر حجمها. فقد كانت جدران الكنائس في ذلك الوقت سميكة جدًا لتدعيم قبابها وعقودها ذات الارتفاع الشاهق، وكانت نوافذها ذات فتحات صغيرة لا تضعف الجدران. ولكن المعماريين توصلوا في بداية القرن الثاني عشر الميلادي إلى تطوير نظام لتدعيم السقوف خفف كثيرًا من جهد التحميل الواقع على الجدران، وبذلك أصبح بالإمكان توسيع مساحات النوافذ. وأقدم هذه النوافذ تم إنجازها في منتصف القرن الثاني عشر الميلادي.

5-8-3 زخارف إسلامية

الزجاج المعشق فناً من فنون البناء في التراث الإسلامي و يتميز بالجمال والخصوصية وقد برع البناؤون كثيراً على مدار التاريخ الإسلامي في توظيف الزجاج كعنصر رئيس من عناصر الديكور التي تضفي جمالاً وسحراً في العمارة الإسلامية. بالزجاج المعشق، تزين جدران مسجد قبة الصخرة المشرفة من الداخل في القدس، شكل (5-43).



شكل 5-43 مسجد قبة الصخرة في القدس، النوافذ مصنوعة من الزجاج المعشق.

4-8-5 تقدم تقني:

شكل(5-44) قبة من الزجاج المعشق محمول على قضبان حديدية.

كانت إطارات الهياكل الحديدية لمعظم نوافذ الزجاج المُعَشَّق الكبيرة خلال القرن الثاني عشر الميلادي، تصنع من قضبان مستقيمة من الحديد تقسم مساحة النافذة إلى مستطيلات. وفي بداية القرن الثالث عشر الميلادي، تمكن الحدادون من تطويع الحديد في أشكال منحنيات أدت إلى إدخال الشكل الدائري في إطارات النوافذ، فضلاً عن الشكل المستطيل للتقاسيم السائدة، شكل (5-44). وولدت الأجزاء المستديرة من الزجاج المعشق أشكالاً شبيهة بالأوسمة. وخلال العقود اللاحقة لعام 1200م، عمّ كذلك انتشار النوافذ المستديرة الضخمة. ثم أصبحت هذه النوافذ تقسم بقوائم رفيعة من الحجارة المنحوتة، وهو نمط زخرفي عرف باسم الزخارف التشجيرية. وأطلق عليها اسم النوافذ الوردية لشكلها الشبيه بالأزهار.

نتج عن تطوير دعامات على السقف اتساع في مساحات النوافذ، وزيادة في عددها. ثم حدث أن اكتشف بعض الصناع ـ في القرن الرابع عشر الميلادي ـ أن تعريض الزجاج العادي للحرارة بعد تغطيته بمادة نترات الفضة تجعله يصطبغ بلون أصفر براق. وكانوا يطلون المادة في مساحات متصلة، أو في تشكيلات منفصلة، بتكلفة زهيدة في كلا الحالين. وعم انتشار النوافذ المصنوعة بهذا النوع من الزجاج خلال القرن الرابع عشر الميلادي وبعده.

بفضل التقنيات التي تم تطويرها في العقود التالية للعام 1400م، مارس الفنانون حريتهم في التجريب، فابتدعوا طريقة يتم بها استعمال زجاج بطبقة رقيقة من اللون، تم تثبيته بالصهر الحراري أثناء تصنيعه، إذ تمكنوا من محو بعض أجزائه بالخدش، وكشف سطحه الشفاف. ومن ثم صار بالإمكان تنفيذ التصاوير والتصاميم بهذه الطريقة، حتي أصبحت نوافذ الزجاج المُعَشَّق تضاهي المحفورات الطباعية في دقة تفاصيلها. كما تمكن الفنانون أيضًا، خلال القرن الخامس عشر، من الرسم بألوان المينا الزاهية فأبدعوا مناظر غزيرة التفاصيل على الزجاج الشفاف، لم تختلف كثيرًا في بهائها اللوني، بعد صهرها بالحرارة، عن الزجاج المُعَشَّق الأصلي.

اسئلة الفصل الخامس

س1/ أملأ الفراغات الأتية:

1- الصوف الزجاجي هو مادة ناتجة عن طريق صهر الزجاج ثم تحويله الى الياف لايزيد قطرها ------ بطريقة ----------.
2- أفضل ميزة في الزجاج الـ ---------- هي السلامة فعند انكسار هذا الزجاج فأن القطع الشمعية تحمينا من الاصابة.
3- الهدف الاساس من عملية تقسية الزجاج هو زيادة --------- في السطوح الخارجية بحيث يزداد مقاومتها للصدمات الميكانيكية أو الحرارية.
4- الزجاج ال ---------- هو الزجاج الذي يلون خلال تصنيعه بأضافة الاكاسيد المعدنية الى التركيبة الاساسية له.
5- يتم تثبيت الالوان على الزجاج بطريقة ---------- بحيث يضمن ثباتها ولمعانها وعدم تشققها.
6- تتم عملية زخرفة المنتوجات الزجاجية بطريقة ---------- عن طريق تغطية المنطقة المراد زخرفتها بمعجون خاص معروف تجارياً Back frost .

س2/ أعط وصفاً لكيفية اجراء عملية التشكيل اليدوي بالنفخ ؟

س3/ ما أبرز المعالجات التي تجري على سطح القناني قبل دخولها الى فرن التقسية وأثناء خروجها ؟

س4/ لماذا يفضل حفظ الاغذية والمواد السائلة في الاوعية الزجاجية ؟ وما عيوب تلك الاوعية ؟

س5/ ما الاضرار الناجمة عن نفخ القناني داخل القوالب الحديدية الباردة ، وكيف يمكن معالجتها ؟

س6/ عدد الخواص التي تشترك فيها جميع مكائن تشكيل القناني الزجاجية ؟

س7/ ما الآلية المتبعة في تصنيع الالواح الزجاجية باستعمال الزجاج السبائكي ؟

س8/ لماذا لا يحصل تلوث للزجاج بسبب القصدير المصهور في طريقة تشكيل الزجاج بالتعويم ؟

س9/ أرسم مخطط تصنيع الالواح الزجاجية بطريقة التعويم ؟

س10/ ما المقصود بطريقة فوركولت المستعملة في أنتاج الالواح الزجاجية ؟

س11/ ما أسباب الفشل الاولي لطريقة تشكيل الزجاج بالسحب الآلي على شكل الواح مباشرة من المنصهر؟

س12/ باختصار كيف يمكن تصنيع الواح الزجاج المسلمة بأسلاك مشبكة معدنية ؟

اسئلة الفصل الخامس

س13/ أرسم مخطط يوضح عملية تصنيع الالياف الزجاجية على شكل حصيرة ؟

س14/ وضح بالرسم مكونات الليف البصري؟

س15/ ما أهم الاختبارات الواجب اجرائها على الليف البصري ليكون صالحاً للاستعمال ؟

س16/ أرسم مخطط تصنيع الصوف الزجاجي بطريقة الطرد المركزي. مع الشرح ؟

س17/ ما مميزات ومجالات استعمال الزجاج المقوى (الملدن جزئياً بالحرارة) والزجاج المقسى (الملدن كلياً بالحرارة) ؟

س18/ وضح باختصار طريقة تقسية الزجاج حرارياً، وما الهدف الاساس من هذه العملية , وما نوع الاجهادات الميكانيكية الحاصلة نتيجة هذه العملية ؟ (وضح أجابتك بالرسم).

س19/ ما انواع الاصباغ المستعملة في الرسم والتلوين على الزجاج ؟

س20/ كيف يمكن المحافظة على الرسومات الفنية على الزجاج وضمان عدم زوالها بالاستعمال ؟

س21/ ما المقصود بالزجاج المعشق، وماهي مكونات الطلاءات المستعملة في اظهار تفاصيل صور الزجاج المعشق ؟

الفصـل السادس

انواع الزجاج وتطبيقاته

أهـداف الفصــل الســـادس:

من المتوقع أن يتعرف الطالب على :

- **أنواع الزجاج من حيث الشكل وتصنيفها**
- **استعمالات انواع الزجاج المختلفة.**
- **التقنيات الحديثة التي يستعمل فيها الزجاج.**

محتويات الفصل السادس

(1-6) أنواع الزجاج من ناحية الشكل

(1-1-6) زجاج مسطح

(2-1-6) زجاج ابيض

(3-1-6) زجاج رغوي

(2-6) الزجاج السيراميكي

(3-6) زجاج السحب

(4-6) الزجاج المجلتن

(5-6) الزجاج المقاوم للرصاص

(6-6) الزجاج المقاوم للحريق

(7-6) الزجاج المنحني

(8-6) زجاج بايركس

(9-6) زيادة العزل الحراري للزجاج باستعمال اغشية لدائنية مدعمة بتقنية النانو سيراميك.

(10-6) استعمالات دهانات شفافة للزجاج لتخفيض تكلفة استهلاك الكهرباء.

(11-6) الزجاج المزدوج لأغراض العزل الحراري والصوتي

(12-6) الزجاج الذكي

(13-6) اعادة تدوير الزجاج

الاسئلة

1-6 أنواع الزجاج من ناحية الشكل

تتنوع أشكال الزجاج وتختلف تبعا لألوانه وإشكاله وتصميم نموذجه ويختلف الزجاج اليدوي عن الزجاج المصنوع ميكانيكيا من حيث السمك ودقة التنفيذ وعدد النماذج وطرق تشكيلها وتلوينها واستعمالاتها، هنا يمكن ان نرصد هذا التنوع في إشكال الزجاج وكالآتي:-

1-1-6 زجاج مسطح

يستعمل بشكل رئيس في النوافذ، كما يستعمل في المرايا وفي الفواصل بين الحجرات وبعض أنواع الأثاث. ويصنع الزجاج المسطح في شكل رقائق. غير أن بعضها (مثل النوع الذي يستعمل في نوافذ السيارات) يعاد تسخينه ويوضع في قالب مقوس لكي يخرج بالشكل الذي يناسب السيارة التي سيركب عليها. يمكن تصنيف الزجاج المسطح إلى الرقائق والألواح الزجاجية والزجاج الطافي. ويستعمل زجاج الرقائق في نوافذ البيوت. أما الألواح الزجاجية والزجاج الطافي فإن لهما سطحاً بالغ النقاء والصفاء والنعومة. وتستعمل هذه الأنواع عندما تدعو الحاجة إلى رؤية نقية ومضبوطة إلى حد بعيد مثل زجاج السيارات وزجاج المعارض في الأسواق.

2-1-6 زجاج ابيض Milk glass

يسمى الزجاج اللبني "الأركوبال" زجاج أبيض لبني أو ملون، وهو عبارة عن زجاج معتم أو نصف شفاف، منفوخ أو مضغوط على هيئة طائفة واسعة من الأشكال، تم تصنيعه أولاً في مدينة البندقية في القرن السادس عشر وتشمل الوانه الأزرق، الوردي، الأصفر، البني، الأسود، والأبيض وهو ما أدى إلى تسميته بهذا الاسم الشائع.

سمى صانعو الزجاج في القرن التاسع عشر الزجاج الأبيض اللبني المعتم باسم "زجاج أوبال". أمّا اسم الزجاج اللبني أو الأركوبال يعد حديث نسبياً، ويتحقق أو يظهر اللون الأبيض من خلال إضافة مادة بيضاء معتمة مثل ثنائي أوكسيد القصدير أو رماد العظام.

صناعة الزجاج اللبني "الأركوبال"، شكل (6-1) على هيئة أواني طعام مزخرفة ومصابيح ومزهريات ومجوهرات مقلدة، فإنه قد نال شعبية كبيرة خلال نهاية القرن الماضي. والقطع التي قد صنعت للأثرياء في

العصر الذهبي كانت معروفة بدقتها وجمالها في اللون والتصميم، في حين أن قطع الزجاج خلال الأزمة أو الركود أثناء الثلاثينيات والأربعينيات من القرن الماضي كانت بدرجة أقل من ذلك.

شكل 6-1 أوعية من الأركوبال "الزجاج اللبني"

يمكن إحداث اللون الابيض او نصف الشفاف من خلال وضع رسوم او صور داخل الزجاج الشفاف، ويستعمل هذا الزجاج غالبا في الإضاءة، كما يمكن إحداثه باستعمال الفضة كمعدن حساس تتجمع الجزيئات حوله ، ويمكن عمل لوح زجاجي من مواد غير معدنية لتكوين بلورات صغيرة تعمل على تثبيت الضوء فتسبب هذه الحالة زجاجا محببا او معشقا حيث تكون الأجزاء نصف الشفافة عبارة عن حبيبات منتشرة بانتظام على الزجاج الشفاف ويتم توزيعها بوساطة غشاء حساس، ويستعمل الزجاج المحبب في الإضاءة ، وتكون الحبيبات على هيئة حفر او نقر او على هيئة منحدرات منتظمة.

6-1-3 زجاج رغوي Foam Glass

هو زجاج تم ابتكاره في السنوات الثلاثين الاخيرة من القرن الماضي في الاتحاد السوفيتي (روسيا) في جامعة مندليف MHTI الكيمياوية التكنولوجية في موسكو، والزجاج الرغوي زجاج متعدد الخلايا بسبب وجود الغاز فيه، وقد أحيطت كل منها وعزلت تماما عن الأخريات بجدران رفيعة من الزجاج، والزجاج الرغوي خفيف الوزن جدا وهو يطفو على سطح الماء وكأنه فلين، يستعمل كعازل للحرارة وللصوت وفي صنع أنابيب البخار وفي المعدات الكيميائية ويمكن قطعة بأشكال مختلفة بوساطة المنشار، شكل (6-2).

شكل 6-2 الزجاج الرغوي مع عبوته

يتم تصنيعه بسحق الزجاج سحقا ناعما، وباستعمال مطحنة وخلطه مع مسحوق ناعم من الفحم (ويصنع من مسحوق زجاجي ناعم وكاربون)، ويوضع بعد ذلك في قالب مصنوع من صفائح حديدية مطلية بالكاؤولين التي يسهل فصلها بعد الاستعمال، يتم إدخالها بعربات من قبل الناقل الأسطواني للفرن الذي يتخذ شكل النفق، تليين ذرات مسحوق الزجاج وتلبد وذلك في ظل إدخالها في الحرارة العالية، كما تهرب الغازات خلال الحرق ويتحلل السخام ويتداخل مع الزجاج اللزج عبر الحرارة وتتحول المواد لتكون شكل الزجاج الرغوي خلال التبريد البطيء ، الذي بدوره يقلل الضغوط الداخلية أو الشقوق في الزجاج الرغوي ويحفظ المنتج لحين الاستعمال، شكل (6-3).

يسخن خليط المساحيق الى درجة حرارة عالية كافية لتليين الزجاج المستعمل ولحرق الكاربون ويعتمد حجم وعدد الخلايا المتكونة والملمس وعدد الثقوب على درجة الحرارة المستعملة، شكل (6-4).

شكل 6-4 ملمس وثقوب الزجاج الرغوي

شكل 6-3 فرن تصنيع الزجاج الرغوي

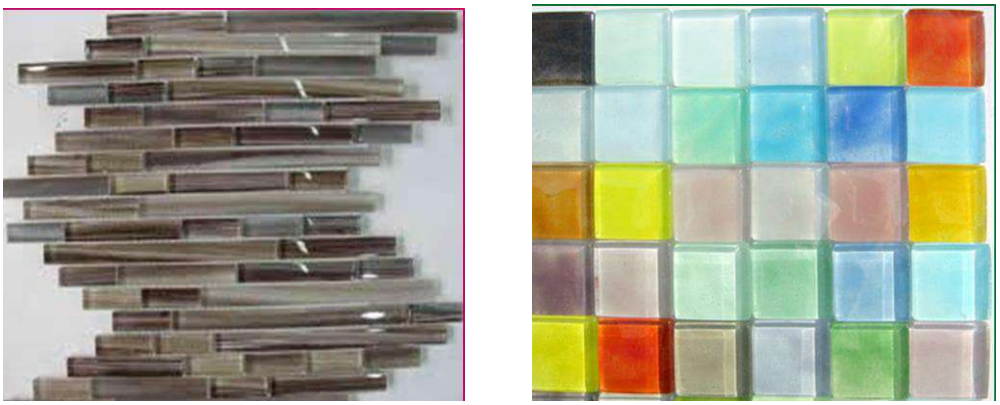
2-6 الزجاج السيراميكي

الزجاج مركب غير متبلور وهو يختلف عن المواد الحرارية الأخرى، يتركب من عدة اكاسيد غير عضوية تصهر ثم تبرد بطيئاً، اذ يتحول المصهور نتيجة زيادة اللزوجة الى حالة الصلابة بدون تكوين بلورات منتظمة، أما المركبات الحرارية كالخزف فهي مركبات متبلورة وعادة ما تكون معتمة كما ان لونها يتغير حسب المواد المضافة.

يمكن تحويل الزجاج الى زجاج متبلور "زجاج سيراميكي" مع ملاحظة ان تحويل المادة غير المتبلورة الى مادة متبلورة يفقدها بذلك صفاتها المميزة مثل الشفافية وتصبح معتمة او نصف شفافة ولها درجة انصهار محددة ، ولان بلوراتها تكون أكثر انتظاما في انتشارها فان قوة شدتها تكون أعلى بكثير من الحراريات الأخرى العادية ، وهي تمتاز بمقاومة كيميائية عالية ، ويستعمل كعوازل كهربائية.

وللزجاج السيراميكي استعمالات عديدة في البناء

انتشر كثيرا في الصناعات المختلفة، وذلك لإمكانية تحضيره من مواد متنوعة ومن مواد متوفرة:- ((فدخل السيراميك في الأبنية المعمارية، وفي الأحواض، وفي البلاطات السيراميكية، وفي الحمامات، والقواطع الداخلية))، وينتج منه أنواع كثيرة منها الشفاف ونصف الشفاف والمعتم والأبيض والأسود والملون. وهو له خاصية لمقاومة الأملاح والأحماض والكيمياويات والأبخرة والرطوبة والمواد القاعدية ولهذا يمكن استعماله في البلاطات الزجاجية في المناطق شديدة الحرارة والرطوبة لان ذلك لا يؤثر على تكوينه الخارجي او الداخلي شكل (6-5).



شكل 6-5 جداريات متكونة من زجاج سيراميكي

اما الزجاج السيراميكي التقني فتتم عملية تحول الزجاج العشوائي الى زجاج متبلور (الزجاج السيراميكي) بوساطة عملية تدعى تبلور الزجاج. وتهدف هذه العملية الى تحسين خصائص الزجاج واهمها زيادة المقاومة الكيميائية ومقاومة الصدمة الحرارية. اذ ان زيادة المقاومة للصدمة الحرارية مرتبط بتقليل معامل التمدد الحراري وهذا يتحقق في الزجاج السيراميكي. ويمكن الحصول على حالة التبلور من عمليات التبريد البطيئة لمنصهر الزجاج.

عموماً الزجاج السيراميكي يتميز بالخصائص الاتية:

1- له متانة ميكانيكية عالية.

2- يتحمل درجات حرارية عالية.

3- ذو ثابت عزل كهربائي واطىء (مفيد في الاغلفة الالكترونية) ويعد شفاف (يسمح بمرور) موجات الرادار.

4- يتميز بمتانة عزل كهربائي عالية.

5- مادة متوافقة بايولوجياً (تستعمل في تطبيقات بايولوجية مثل صناعة الاسنان).

6- ذو معامل تمدد حراري واطىء ومقاومة عالية للحك والسوفان، ومقاومة للصدمة الحرارية لذلك يستعمل في ادوات الطبخ.

من الامثلة المهمة للزجاج السيراميكي هو المركب: $LiAlSi_2O_6$ المسمى (ZERODUR) الذي يتميز بامتلاكه معامل تمدد حراري صفري، ويستعمل في المنظومات التي يجب الا تتغير ابعادها بارتفاع درجة الحرارة. وعادة مايكون لونه ابيض الى الشفاف ومن السهل تشغيله (تقطيع وتثقيب) من دون حدوث كسر للحصول على اشكال مناسبة. ومن ابرز تطبيقاته ، شكل (6-6).

- استعماله في صناعة المتحسسات الضوئية السيراميكية.
- تصنع منه مرايا التلسكوبات والنوظير الليلية وزجاج حماية المركبات العسكرية.
- تصنع منه مانعات التسرب لمنظومات ليزر الهيليوم.

شكل 6-6 تطبيقات الزجاج السيراميكي نوع ZERODUR

ومن الامثلة الاخرى للزجاج السيراميكي التقني هي:

النظام: $SiO_2 - Al_2O_3 - MgO$

والنظام: $Na_2O - K_2O - F$ والتي تضاف اليها بعض الاكاسيد مثل:

B_2O_3, SrO, BaO, FeO, Fe_2O_3, CaO, ZrO_2, CeO_2,.....

ويدعى: نظام مايكا – زجاج – سيراميك ويستعمل في صناعة الاسنان السيراميكية لامتلاكه الخصائص الميكانيكية العالية والشفافية بالاضافة الى متطلبات صناعة الاسنان السيراميكية الاخرى.

الخزف الزجاجي او ما يسمى الزجاج السيراميكي هي مواد قوية تصنع عن طريق تسخين الزجاج بحيث يعاد تنظيم ذراته ليصبح أنماطا منتظمة تسمى بلورات، وهذه المواد المتبلورة تتحمل درجات الحرارة العالية والتأثيرات الكيميائية والتغيرات المفاجئة لدرجات الحرارة وهذه تستعمل في عدد من المنتجات كأواني الطبخ المقاومة للحرارة كما يدخل في تركيب المحركات التوربينية والمعدات الكيميائية والالكترونية.

3-6 زجاج السحب (Rolled Glass)

وينتج هذا النوع من الزجاج عن طريق صب الزجاج المصهور على مجموعة من الاسطوانات (Rollers)، وعن طريق الضغط والتمرير بين الأسطوانات يتم تشكيله حسب السماكة المطلوبة، ثم ينقل الزجاج إلى غرفة التلدين (annealing) وبعد التلدين يسحب الزجاج ليتم قصه حسب الأبعاد المطلوبة. وأهم أنواع زجاج الرولات هما:

-الزجاج المنقوش (Patterned) .

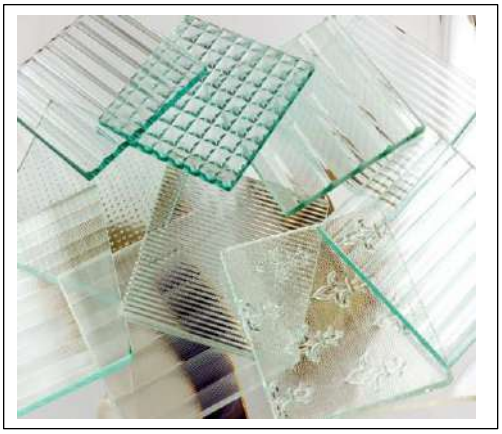
-الزجاج المدعم بأسلاك (Wired)، شكل (6-7) (تعمل الاسلاك على تماسك الزجاج بعد الكسر)

والزجاج المنقوش له عدة أسماء من بينها : زجاج الديكور وهو يتوفر بسماكات تتراوح من 3 mm إلى 10mm. والزجاج المنقوش يصنع عن طريق تمريره على بين أسطوانات منقوشة. ويمكن أن يتم النقش على سطح واحد أو كلا السطحين. ويستعمل الزجاج المنقوش لعدة أسباب منها:

- يستطيع التحكم على مرور الضوء.

- يخفي تفاصيل الأجسام خلفه.

- يستعمل كديكور.

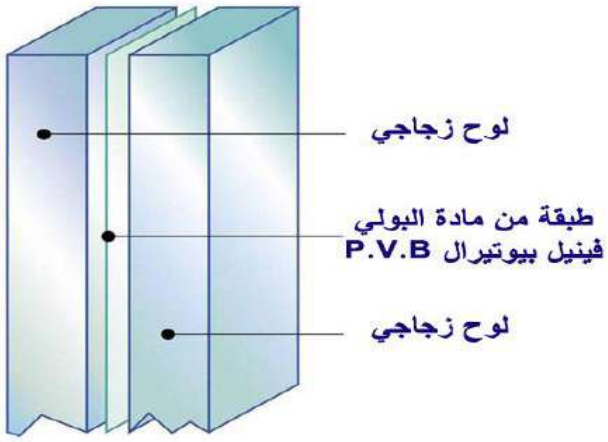


شكل 6-7 الزجاج المنقوش والمدعم بالأسلاك (لاحظ الزجاج لا يتطاير بعد الكسر لوجود الاسلاك المعدنية)

4-6 الزجاج المجلتن

يتألف الزجاج المجلتن من طبقتين أو أكثر من الزجاج تفصل بين كل منها طبقة من الراتنجيات Resins (مواد عضوية) ، شكل (6-8), و ذلك لضمان درجة أعلى من الأمان، يتم تصنيع الزجاج المجلتن

عن طريقة لصق قطعتين من الزجاج معاً بوساطة الضغط والحرارة مع استعمال طبقة من مادة البولي فنيل بيوترال (P.V.B) لنحصل على الزجاج المجلتن القابل للقص والتشكيل الذي يمتاز بالجمال والشفافية وقوة التحمل لمواجهة تحديات العصر الحديث في تصميم المباني . ويعد الزجاج المجلتن الزجاج الوحيد القابل للتحمل والاستمرارية الذي يجمع بين خصائص الزجاج و البلاستيك. وحسب نوعية الزجاج المطلوب يمكن صناعة الزجاج المجلتن من طبقتين أو أكثر من الزجاج العادي أو من الزجاج المعالج حراريا.



شكل 6-8 الزجاج المجلتن

ويمكن تلخيص مزايا الزجاج المجلتن كالآتي:

1- الزجاج المجلتن المشكل من طبقات من الزجاج أو طبقة أو طبقات من مادة البولي فينيل بيوتيرال P.V.B يقاوم الاختراق عند اصطدامه بأي جسم طائر فقد ينكسر الزجاج ولكنه لا يتناثر حيث أن مادة ال (بي في بي) ذات الخصائص اللزجة تحافظ على قطع الزجاج في مكانها وتمنعها من التساقط أو التطاير على عكس أنواع الزجاج الأخرى التي قد يؤدي الزجاج المتناثر منها إلى إصابات خطيرة.

2- يمتاز الزجاج المجلتن بمقاومته للضوضاء اذ تشكل مادة (P.V.B) اللزجة مادة عازلة للصوت وتقوم بتقليل انتقال الصوت عبر الزجاج بدرجة كبيرة.

3- يستعمل الزجاج المجلتن المشكل من طبقات من الزجاج و طبقة من مادة (P.V.B) المظلل كعازل للحرارة اذ يقلل انتقال الحرارة الناتجة عن أشعة الشمس المباشرة وبالتالي تقلل من تكاليف التكييف.

4- تشكل مادة (P.V.B) مادة عازلة للأشعة فوق البنفسجية التي تؤدي إلى تلف المعروضات والمفروشات والقطع القديمة و التحف وغيرها.

5- يؤدي الزجاج المجلتن بطريقة الراتنجيات الأداء نفسها الذي يؤديه الزجاج المجلتن بطريقة طبقات ال (P.V.B)

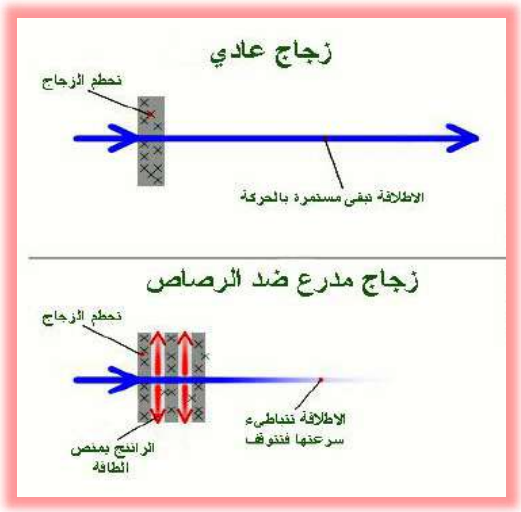
6- يمكن جلتنة الزجاج الأبيض الشفاف و الملوَّن و المطلي بطبقة عاكسة, سواء كان مقسَّىً, أو مقوَّىً حرارياً, أو ملدَّناً (عادياً) ثم إنه يمكن استعماله مفرداً أو في أحد طرفي وحدة الزجاج العازل المزدوج .

7- إمكان تلوين الوحدة الزجاجية بألوان تلائم الديكورات الداخلية للمبنى.

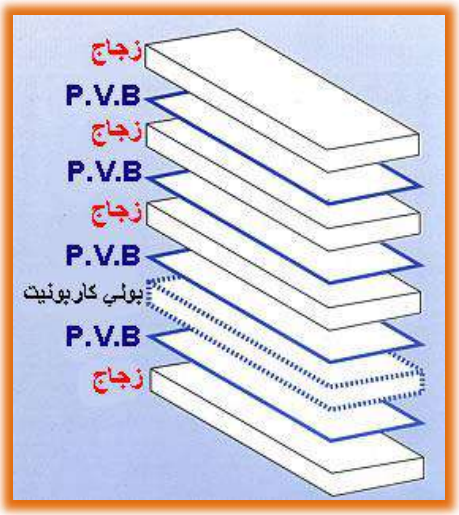
6-5 الزجاج المقاوم للرصاص

يتم تصنيع الزجاج المقاوم للرصاص (الاطلاقات) بلصق عدة طبقات من الزجاج بمادة ال (P.V.B) اذ تعمل هذه المادة على امتصاص قوة إطلاق الرصاصة و عند دخول الرصاصة إلى الطبقة الثانية تكون قد فقدت معظم طاقتها ، شكل (6-9). وتعتمد مقاومة الزجاج للرصاص على سماكة الزجاج المستعملة وبشكل عام يتم تحديد السماكة وعدد طبقات الزجاج عند معرفة مدى الحماية المطلوبة ونوع السلاح المستعمل ومدى الرماية.

وتعطي طبقة أو طبقات البولي كاربونيت الإضافية قوة إضافية وتمنع تطاير الزجاج، شكل (6-10).



شكل 6-9 آلية عمل الزجاج المضاد للرصاص



شكل 6-10 مكونات طبقات الزجاج المضاد للرصاص

مجالات الاستعمال :

- الفتحات السماوية و المظلات الزجاجية.
- محلات الذهب والمجوهرات و السفارات و البنوك و محلات الصيرفة وغيرها.
- الأسقف و الشرفات و الدرابزونات و الأدراج الزجاجية.
- دور الأطفال, و المدارس, والأماكن كافة التي يخشى فيها من تدافع التجمعات البشرية.
- التقسيمات الداخلية (للمنازل و الشركات و المكاتب التجارية ...).
- واجهات الأبنية السكنية و الأبنية الضخمة (المجمعات التجارية, المطارات, الفنادق, المستشفيات ...).
- المفروشات الزجاجية.

6-6 الزجاج المقاوم للحريق

هذا زجاج مؤلف من رقائق عدة توجد بينها طبقات بينية شفافة من مواد معينة، حين يُعرّض هذا الزجاج للنار (بدرجة حرارة 120 C° تقريباً)، فإن اللوح الذي يواجه اللهب يتصدع, لكنه يبقى في مكانه، وتتحول الطبقات البينية، الواحدة تلو الأخرى، إلى رغوة سميكة، معتمة، مرنة، تكوّن درعاً عازلاً يمنع حرارة الوهج.

تتلخص فوائد هذا الدرع المعتم بما يأتي :

- إن الزجاج يبقى في موقعه ولا ينهار، لذا لن يتمكن الدخان، أو اللهب، أو الغازات الحارة، من تجاوزه.
- لا يمكن انتقال الحرارة إلى الجانب الآخر من الحريق. ويستمر هذا من 45 إلى 120 دقيقة تكون الحماية خلالها كاملة.

- لا ينتقل هذا الحريق خلال هذه المدة إلى الغرف, والسلالم, وطوابق البناء الأخرى.

يمكن استعمال الزجاج المقاوم للحريق في:

- جميع التطبيقات حيث تشترط تعليمات البناء
- توفر مستوى معين من مقاومة الحريق
- المستشفيات -المتاجر ومراكز التسوق.
- المطارات - المدارس.
- الفنادق والمطاعم.

7-6 الزجاج المنحني

يصنع الزجاج المنحني بتسخين الزجاج المستوي تدريجياً ليبلغ درجة حرارة أعلى قليلاً من نقطة الانصهار, ثم يعطى شكلاً مقعراً أو محدباً في فرن خاص، وحالما يأخذ الزجاج الشكل المطلوب يُبَّرد بطريقة يمكن التحكّم فيها للتوثق من أن المنتَج النهائيّ خالٍ من أي إجهادات داخلية. هذا حين يُستعمل هذا الزجاج استعمالاً خارجياً، فإنه يُضفي على الواجهات جمالاً لافتاً للنظر.

وفي الجدران الرأسية، والأسقف الزجاجية، يضفي هذا الزجاج عليها منظراً أصيلاً جميلاً (زوايا المباني, واجهات العرض, زجاج الأمان المزدوج) وفي الاستعمالات الداخلية، يمكن الاستفادة من الزجاج في الدرابزين, وجدران المصاعد، وطاولات العرض, وتقسيمات المكاتب، وغيرها، شكل (6-11).

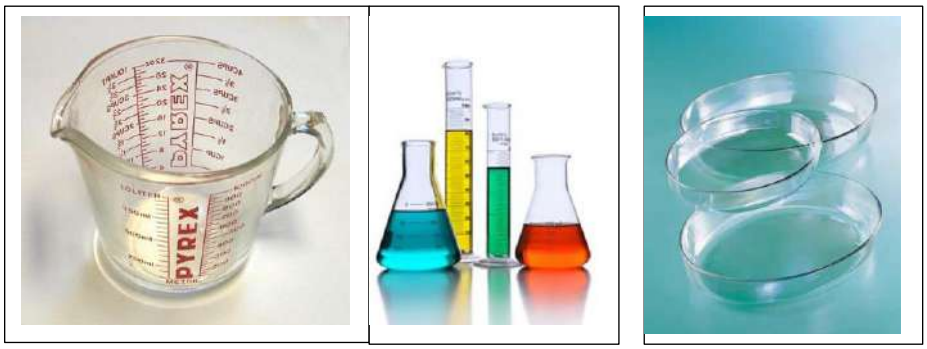
شكل 6-11 استعمالات الزجاج المنحني

8-6 زجاج بايركس Pyrex glass

زجاج معامل تمدده ثلث معامل تمدد الزجاج العادي ، يتحمل التغيرات الكبيرة في درجات الحرارة ، ويصنع بتسخين مزيج من الرمل والبوراكس وأوكسيد الألومنيوم .

يستعمل زجاج البايركس لتصنيع أوعية المختبرات الكيميائية وأدوات المطبخ، شكل (6-12). وهو ممتاز في الاستعمالات الكهربائية .. وخطوط الأنابيب الزجاجية..

زجاج البوروسيليكات و هو ما يسمى بزجاج البايركس و الكيموكس يتكون من (80%) من السيلكا و (4%) من القلويات و (2%) من الألمنيوم و (13%) من أوكسيد البوريك. و هذه النسب تعطي هذا النوع من الزجاج ثلاثة أضعاف قوة زجاج الصودا و الحجر الجيري، كما في الجدول (6-1).



شكل 6-12 استعمالات زجاج البايركس

جدول 6-1 مقارنة بين خصائص انواع الزجاج

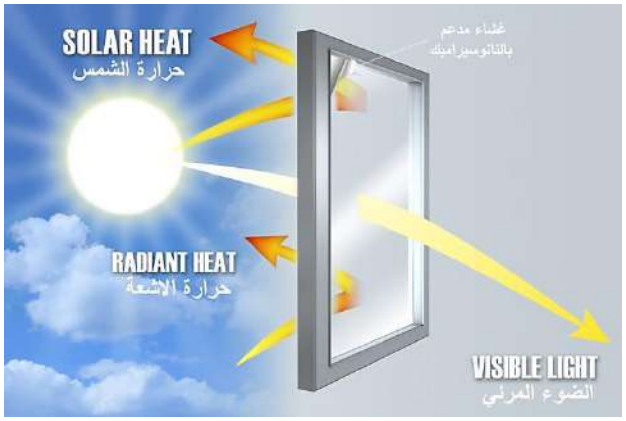
المادة الخاصية		كوارتز	بوروسيليكات (بايركس)	جير الصودا	الزجاج السيراميكي
الكثافة	g/cm^3	2.2	2.23	2.50	2.53
الخصائص الميكانيكية					
معامل يونك	10^{10} Pa	7.2	6.3	7.3	9.1
نسبة بوازون		0.17	0.20	0.22	0.24
الخصائص الحرارية					
درجة حرارة الانتقال الزجاجي	°C	1050	525	525	-
معامل التمدد الحراري	$10^{-6}/K$	.55	3.3	9.1	0.05
معامل التوصيل الحراري	W/mK	1.4	1.2	1.1	1.7
تحمل حراري	°C	1000	500	450	600
الخصائص الكهربائية					
المقاومة الكهربائية النوعية عند 250 °C	Ohm.cm	10^{12}	10^8	10^7	10^6

6-9 زيادة العزل الحراري للزجاج باستعمال اغشية لدائنية مدعمة بتقنية النانو سيراميك.

ان اغشية اللدائن - النانو سيراميك - تعزل الأشعة تحت الحمراء بنسبة 92 % وتعزل 99.9% بالمائة الأشعة الضارة فوق البنفسجية والمسبب الرئيس لمشاكل الجلد وتلف وبهتان المفروشات والديكور الداخلي للمنازل كذلك تحمي اثاث المنزل الثمينة وتحمي افراد العائلة من وهج وحرارة الشمس فإنها اغشية غير عاكسة للرؤية ذات المظهر الطبيعي ليلاً ونهاراً وهذا يمنحنا الحصول على رؤية غير محجوبة، ويتم لصقها على الزجاج للحماية من الاشعة الضارة وزيادة العزل الحراري، شكل (6-13).

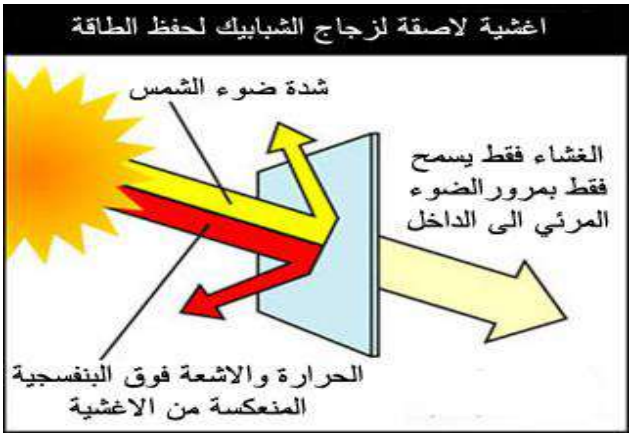
توفير المال وحماية الافراد والاثاث باستعمال اغشية العزل الحراري لزجاج المباني من خلال عدم السماح بنفوذ حرارة الأشعة تحت الحمراء وتخفيض كبير في تشغيل التكييف وصيانته وتخفيف الحمل

على الكهرباء حيث توفير اكثر في استهلاك الكهرباء يصل الى 50% بسبب تقليل زمن عمل الضاغط في المكيف وبروده المكان اسرع والمحافظة على البرودة حيث يتم ضبط جهاز مقياس الحرارة على 22 °C بدلا من 18 °C فيعمل الضاغط لفتره وبعدها يقفل فيوفر في سحب الكهرباء .



شكل 6-13 الاغشية المدعمة بالنانوسيراميك لتغليف الزجاج

الاغشية 100% خالية من الألوان الصناعية و100% خالية من الألياف المعدنية وذات لون ثابت لايتغير مع الزمن ولا يتأكسد مع عوامل الطقس. يقي من الاشعة الضارة فوق البنفسجية والحرارة بمقدار اعلى من استعمال الزجاج الاسود بسبب وجود طبقة السيراميك الشفاف المصقول بتقنيه النانو. وتستخدم في واجهات المعارض الزجاجية والمكاتب والبيوت والاستراحات والشاليهات والقوارب واليخوت بالإضافة الى زيادة العزل الحراري للسيارات للمحافظة على بدن السيارة وتقليل الحرارة الداخلة عبر النوافذ الزجاجية وكل واجهة زجاج تتعرض للشمس وبنسبة عزل للحرارة فوق البنفسجية 99.9% والاشعة تحت الحمراء المسببة لوهج الشمس بنسبة تصل الى 97% وبضمان بلا حدود مدى الحياه ، شكل (6-14).



شكل 6-14 الاغشية العازلة تمنع مرور الاشعة

تقنية النانو:

هي مجال البحث العلمي المتقدم الذي يعني صنع الأشياء في مستوى الذرة والجزئيات والنانو هو جزء من المليار من المتر وتساوي قطر شعر الأنسان 80.000 نانو متر وعند هذا المستوى من التقنية فإن جميع القوانين الفيزيائية والكيمائية العادية لن يبقى لها وجود بعد اختراع تقنية النانو وفوائد النانو لا حصر لها مثل الصناعات الطبية الدقيقة والدوائية والأبحاث الطبية والتكنولوجية المتطورة وآخرها صناعة العظام.

مزايا اغشية النانو سيراميك:

ميزات غشاء النانو سيراميك هي :

1- **غشاء لا يؤثر على أجهزة الإتصال:** (METAL FREE) يعد غشاء النانو سيراميك (بفضل خلوه من أية مواد معدنية أو كاربونية) الغشاء الوحيد الذي لا يؤثر على وسائل الاتصال الموجودة داخل السيارة او المبنى، مثل جهاز ملاحة GPS أو جوال، أو جهاز الاتصال بالأنترنت المحمول (USB CONNECT) أو جهاز التحكم في باب الكراج.

2- **غشاء مقاوم للخدش:** بفضل طبقة الحماية التي يحتويها غشاء النانو سيراميك، فإن الخدش لا يمثل مشكلة اذ ان مرونة الغشاء و كونه أملسا، يجعله مقاوما للخدش الذي قد تسببه أية عوامل على ركاب السيارة من أطفال، أو تحميل جسم ما داخل السيارة، كذلك مقاوم التقشير والتآكل والصدأ.

3- **غشاء مقاوم للانفكاك:** و يمثل الانفكاك شغل الناس الشاغل اذ ليس من المناسب تغيير الغشاء كل مرة، وهذا ما يميز غشاء النانو سيراميك إذ أنه لا ينفك و لا يؤثر فيه عامل فشل اللاصق و ذلك بفضل الجودة العالية في صنعه، و المهارة اللامتناهية في تركيبه.

4- **الغشاء الأعلى عزلا حراريا في العالم:** يمتاز غشاء النانو سيراميك بعزل عال للحرارة إذ يعزل الأشعة فوق البنفسجية بنسبة 99.9% والأشعة تحت الحمراء بنسبة 97% وهو ما يضمن عدم تأثر ركاب واجزاء السيارة الداخلية بأشعة الشمس.

5- **غشاء يوفر الحماية الكاملة:** يمثل غشاء النانو سيراميك حاميا ناجحاً للسيارة في حال لا قدر الله وقوع حادث أو عملية سطو، إذ يترك اثراً مهماً في حماية الزجاج من التناثر في حالة الكسر.

6- **الاغشية الشفافة الوحيدة بالعالم:** التي توفر لك رؤية واضحة وصافية من الداخل والخارج وهي ذات لون ثابت بدون انعكاس في الرؤية.

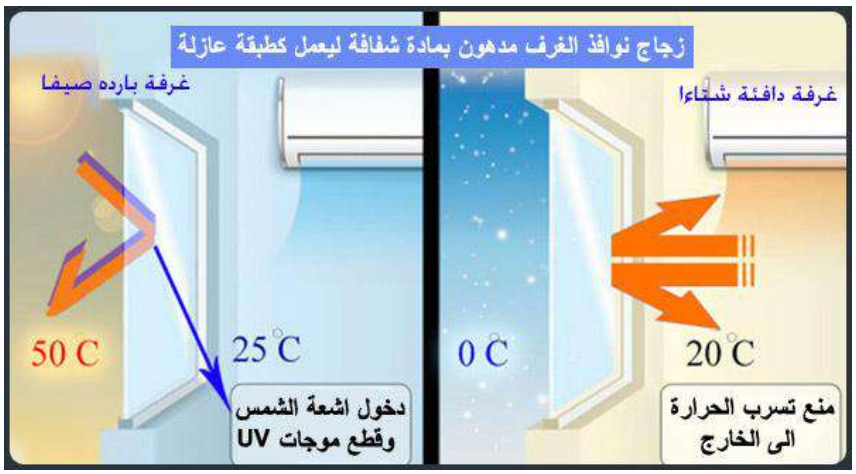
7- **100 % بدون ألوان صناعية (صديقة للبيئة)**

10-6 استعمالات دهانات شفافة للزجاج لتخفيض تكلفة استهلاك الكهرباء

استخدام دهانات شفافة للزجاج يمكننا توفير أكثر من 20% من الطاقة المستعملة داخليا، ويظهر الأثر الاقتصادي الكبير في الأماكن التي تعتمد اعتمادا كليا على الطاقة (الأماكن الحارة الأكثر استعمالاً للمكيفات أو المبردات والأماكن الباردة التي تعتمد في التدفئة على الطاقة)، شكل (6-15).

تتكون الدهانات العازلة من بلورات وجزيئات سيراميكية بالغة في الدقة (نانوية)، كروية الشكل، مرتبة بطريقة ثابتة وهندسية، وبدون فراغات فيما بينها ، ذات مقدرة فائقة على تشتيت أشعة الشمس التي تعد مصدرا للحرارة على مسطحات كبيرة ، فتعمل على عدم وصول أشعة الشمس. الدهان العازل يمنع بذلك تراكم الحرارة على الأسطح لتشتيته لها، ولذلك فهو يمنع ارتفاع درجة حرارتها لأنه يمنع نفادها إلى الداخل ومن ثم تنخفض درجات الحرارة الداخلية للبنايات.

الدهانات الشفافة العازلة والمقاومة للحرارة تعمل على خفض درجة التبريد أو التدفئة من 2-5 درجات عن المعدل الطبيعي (بدون الدهان العازل). كذلك باستعمال الدهانات العازلة الشفافة يتم تشتيت أكثر من 80% من أشعة الشمس تحت الحمراء قريبة المدى (NIR) .



شكل 6-15 الدهانات العازلة تمنع تسرب الحرارة من داخل وخارج الغرف صيفاً وشتاءاً

11-6 الزجاج المزدوج لأغراض العزل الحراري والصوتي

يخفّض الزجاج المزدوج العازل مصروفات الطاقة (الكهرباء، والوقود.....) تخفيضاً جوهرياً وملموساً، نتيجة العزل الحراري الفعّال الذي يؤديه ، كما أنه يحقق مستويات مقبولة من العزل الصوتي

يتكون الزجاج العازل من لوحين زجاجيين على الأقل، متوازيين و مثبتين معاً لتكوين وحدة مختومة بإحكام. والمبدأ الذي تقوم عليه هو إحداث تجويف بين لوحين زجاجيين أو أكثر، مملوء بالهواء الجاف أو بغاز آخر كالآركون Argon, أو الزينون Xenon أو الكربتون Krypton. كما و يملأ مقطع الألمنيوم الفاصل بين اللوحين بحبيبات ماصة للرطوبة، شكل (6-16).

مكونات وحدة الزجاج المزدوج العازل :

لقد أجمع مصممو المباني الحديثة على أن النوافذ هي أضعف أقسام المبنى عند الحديث عن تسرب الطاقة، وتصبح هذه المشكلة أشد إلحاحاً في المباني الحديثة الكبيرة التي تزداد فيها مساحة النوافذ زيادة شديدة. وللتخلص من عيب العزل الحراري في حالة النوافذ العادية (ذات اللوح الزجاجي الواحد), أجريت بحوث مكثفة أسفرت عن أن العزل الفعَّال لا يتحقق إلا باستعمال الزجاج المزدوج العازل.

فضلاً عن خواص العزل الحراري, فإن وحدات الزجاج المزدوج العازل توفر فائدة أخرى، وهي العزل الصوتي، و يتعزز العزل الصوتي تعزيزاً كبيراً بأنشاء وحدات زجاج سماكاتها غير متناظرة أو باستعمال غاز خاص في الفسحة بين لوحي الزجاج.

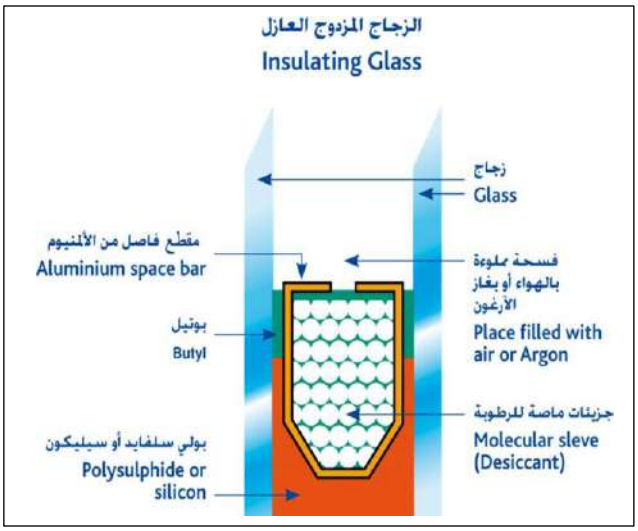
أماكن الاستعمال :

1- في مجال البناء :

- يعد الزجاج العازل المزدوج هو الخيار الأمثل في الأبنية السكنية و التجارية، المستشفيات، المدارس، الفنادق، المطاعم، المطارات، ... .
- الواجهات الكبيرة للأبنية
- واجهات العرض للمحال و المخازن التجارية
- التقطيعات الداخلية للمكاتب والوحدات السكنية للفصل بين الأماكن و الأشخاص
- النوافذ والأبواب الداخلية والخارجية للبيوت للأبنية والمحلات والمخازن التجارية

2 - في المجال الصناعي:

زجاج الباصات و الميكروباصات و القطارات و بعض السيارات و أبواب البرادات و المجمدات و أفران المايكرو ويف.



شكل 6-16 الزجاج المزدوج العازل حرارياً

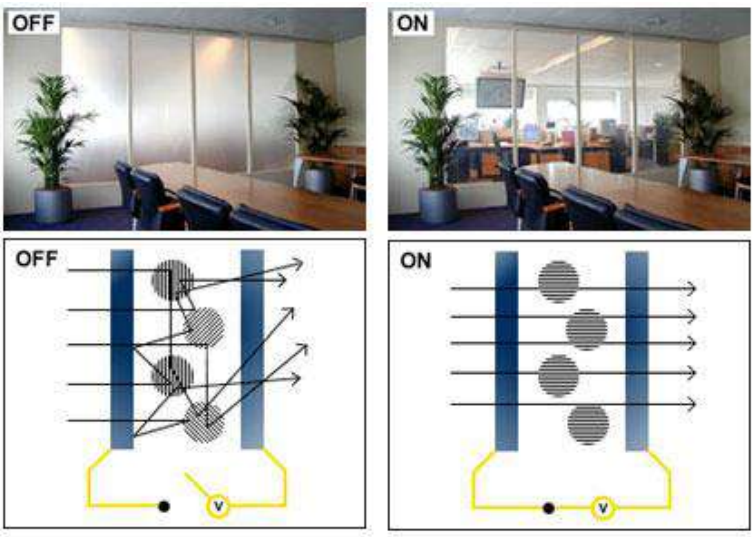
6-12 الزجاج الذكي Smart Glass

تمكن باحثون من تصنيع زجاج "ذكي" يمكنه أن يمنع حرارة الشمس من اختراقه سامحاً لأشعتها فقط بالدخول بشكل تام أو جزئي، بحسب الرغبة. وتم التوصل إلى هذه النتيجة باستعمال جزئيات نانو ومزجها بالزجاج.

صممت أنواع من الزجاج تمتزج فيه التقنيات الكيماوية بالكهربائية ، لكن هذا الزجاج الجديد يتمكن من تصفية الحرارة والأشعة كل على حدة. واستعمل الباحثون نوعا خاصا من الزجاج يحتوي على أوكسيد النيوبيوم، وبلورات من أوكسيد الأنديوم- القصدير، الذي يبقى شفافا إذا كدست طبقات رقيقة منه فوق بعضها، وهو يستعمل في صناعة شاشات التلفزيون المسطحة أو التي تعمل باللمس.

ووضعت هذه الزجاجات إلى جانب طبقة من الزجاج الذي يحتوي على النيوبيوم، وبينهما إلكتروليت ومادة موصلة للتيار الكهربائي.

وعندما لا يمر التيار الكهربائي، تكون القطعة أشبه بأي قطعة عادية من الزجاج، التي تدع الضوء يخترقها أشعة وحرارة. لكن ما إن يعمل التيار الكهربائي حتى تتوقف الحرارة عن اختراق الزجاج وتمر الأشعة فقط...حيث يعمل التيار الكهربائي على استقطاب البلورات واصطفافها بشكل منتظم مما يجعل الزجاج شفافاً، وعند قطع التيار الكهربائي تفقد البلورات انتظامها وتقوم بتشتيت الاشعة بعدة اتجاهات، كما في الشكل (6-17).



شكل 6-17 الزجاج الذكي، لحظة غلق الدائرة الكهربائية يتحول الزجاج الى شفاف

هل تعلم؟؟

ان الزجاج الذكي استعمل في تطبيقات مختلفة، منها:

شاشات التلفزيون الحديثة (Smart TV) و شاشات الاجهزة النقالة والنظارات الذكية.

13-6 اعادة تدوير الزجاج

تعد عملية إعادة تدوير الزجاج، خطوة مهمة ومفيدة؛ فهي تعمل على توفير الطاقة، كما وتحافظ على الموارد الطبيعية كما تعد عملية إعادة تدوير الزجاج، خطوة مهمة بالنسبة للبيئة، فكل زجاجة يتم إرسالها إلى مواقع طمر النفايات، تستغرق ما يقارب مليون عام حتى تتكسر، في حين أنها تأخذ أقل من ثلاثون يوما، من أجل إعادة تدويرها، والنتيجة هي الحصول على شكل مختلف وجديد، وتعد عملية إعادة التدوير للزجاج والحاويات الزجاجية عملية مستدامة؛ لأن الزجاج يعتبر من المواد القابلة لإعادة التدوير

والتشكيل بنسبة 100% ، مما يعني أنه قابل لإعادة التشكيل مرارا وتكرارا، من دون أن يفقد أياً من جودته ونقائه.

كما أن إعادة تدوير الزجاج، عملية فعالة، بمعنى أنها تتم بوساطة العبوات المستردة منه، حيث يتم عمل حاويات نمطية جديدة مختلفة، مصنوعة من 70% من الزجاج المعاد ، وينتهي بها المطاف إلى أشكال جديدة مختلفة عن السابق، وبجودة تضاهي السابق وتساعد هذه العملية في الحفاظ على الموارد الطبيعية، فكل طن من الزجاج، تتم عملية إعادة تدويره، يوفر أكثر من نصف طن من المواد الخام، اللازمة لإنشاء زجاج جديد، وتشمل 600 kg من الرمل، و 150 kg من رماد الصودا، و 170 kg من الحجر الجيري.

إلى جانب ذلك، فإن لهذ العملية دورا في توفير الطاقة؛ لأن عملية تصنيع الزجاج الجديد، تتطلب تسخين الرمل والمكونات الأخرى الخاصة به، إلى درجة تصل الى 1450 درجة مئوية، وهي تحتاج إلى طاقة كبيرة حتى تصل إليها، ولتخلق تلوثا صناعيا كبيرا بينما عملية إعادة التدوير للزجاج، فإن أولى عملياتها هي صنع منتج يسمى Cullet ، وهو ما يصنع منه الزجاج المعاد تدويره، بمعنى أنه المادة الخام، ويستهلك نحو 40 % طاقة أقل ؛ لأن هذه المادة تذوب في درجة حرارة أقل من الزجاج الخام.

وتعود عملية إعادة تدوير الزجاج بالنفع؛ لأن الزجاج يصنع من مواد طبيعية مثل الرمل والحجر الجيري، وهو يحتوي على كمية أقل من الكيماويات التي تتفاعل مع المحيط الخارجي ونتيجة لهذه العوامل، فإن الزجاج المعاد تدويره يعد آمنا في عملية إعادة الاستعمال، كما أن الزجاجات التي اعيد استعمالها، تسخر لغايات الديكور والبيع، والأخرى في البلاط وتكوين المناظر الطبيعية على الشواطئ وفي النواحي الفنية.

ولأن عملية إعادة تدوير الزجاج تتميز ببساطتها، فإن الزجاج أصبح من المواد الخام، التي يكثر الطلب عليها وبشكل كبير في الأسواق العالمية، ولا يوجد هنالك أية مخاوف من إعادة استعمالها مرات، وبكلفة أقل، ولا تتطلب من الأفراد والمؤسسات إلا تجميعها في الأماكن المخصصة لها.

كيف يعاد تدوير الزجاج؟ يجمع الزجاج في الدول الغربية والمتقدمة من العالم في صناديق وحاويات خاصة وفي الكثير من دول العالم الأخرى يرمى مع بقية مواد القمامة الأخرى المعدة للدفن يجرى عادة تدوير الزجاج المستهلك في جميع أنحاء العالم في العديد من دول العالم تقوم الأسواق المركزية والكبيرة لديهم بوضع حاوية لتجميع القناني الفارغة بهدف تجميعها لغرض اعادة تدويرها.

تضع المجالس البلدية والمحلية عادة حاويات خاصة ليجمع الزجاج فيها بجوار حاويات النفايات الأخرى كذلك تقوم بعض النوادي والمشارب بعملية التفريق بين الزجاج المعد للتدوير في حاويات مختلفة للمستهلكات حسب ألوان الزجاج, أخضر وبني والشفاف, بينما في بعضها الآخر تخلط سويةً, بسبب عدم توفر المكان المناسب لديهم لذلك..

يحتوي الزجاج المراد تكريره على شوائب وملوثات يتوجب فصلها أولا مثل المعادن و الورق والبلاستك و مواد عضوية أخرى و خزف وأشباه الخزف اذ يجب أن تزال ويجرى الكشف عليها عادة بطرق يدوية إضافة إلى تقنيات متطورة جدا من كاشفات للمعادن وطاحنات للتهشيم وشاشات وليزر وكاميرات رقمية للتصوير وأشعة سينية لتعزيز مستوى اكتشاف وإزالة الملوثات وبعد أن يتم التأكد من نظافة الزجاج المراد تدويره يخلط بمواد أولية جديدة تدخل في صناعة الزجاج عادة وثم يصنع الزجاج من جديد، شكل (6-18). كما ويمر الزجاج المكرر بخطوات رئيسة هي: رمي الزجاج ، تجميع الزجاج، التجميع التجاري ، إزالة الملوثات ، تصنيع الحاويات.

من الحقائق في عملية اعادة تدوير الزجاج يرمى في مواقع المكبات و دفن النفايات حولي 1.400.000 طن من الزجاج كل سنة، وهذا فرصة مفقودة حقيقية يمكن أن يستعمل الزجاج المعاد بنسبة 100% في صناعة القناني والجرار الزجاجية الجديدة من دون أي خسارة أو تغيير في النوعية او المواصفات كما يمثل الزجاج ذو اللون الأخضر حوالي 90% من الزجاج المعاد واخيرا هل تصدق بأن الزجاج الذي دور في عام 2003م يمكن أن يوفر طاقة تكفي لإطلاق عشر رحلات لمكوك الفضاء.

شكل 6-18 مخطط مراحل تدوير الزجاج

أسئلة الفصل السادس

س1/ عدد خمسة استعمالات للزجاج المسطح ؟

س2/ ما المقصود بزجاج الاركوبال ، وفي أي منطقة ظهر لأول مرة ؟

س3/ أذكر صفات الزجاج الرغوي وكيف يمكن تصنيعه ؟ وبماذا يختلف عن السيراميك الرغوي ؟

س4/ قارن بين الزجاج العادي والزجاج السيراميكي من ناحية (التركيب، طريقة التشكيل، الخصائص الميكانيكية، مجالات الاستعمال) ؟

س5/ ما أبرز الصفات التي يتميز بها زجاج (Zerodur) وما هو مدى استعمالاته ؟

س6 / اذا تم خلط مساحيق من الاكاسيد التالية وبنسب معينة (SiO_2 , Na_2O , CaO , Al_2O_3) وكانت درجة حرارة انصهار الخليط 1300 C°. فإذا تم معاملة الخليط بدرجات حرارية مختلفة وبمعدلات تبريد مختلفة أيضاً ، اي من العمليات التالية تعطي سيراميك او زجاج او زجاج سيراميكي.

1- المعاملة بدرجة حرارة 1100 C° وبمعدل تبريد منخفض.

2- المعاملة بدرجة حرارة 1100 C° وبمعدل تبريد سريع.

3- المعاملة بدرجة حرارة 1350 C° وبمعدل تبريد منخفض جداً.

4- المعاملة بدرجة حرارة 1350 C° وبمعدل تبريد سريع.

س7/ كيف يتم تصنيع الزجاج المظلل المنقوش وماهي أبرز استعمالاته؟

س8/ لماذا يتم أضافة مادة راتنجية (جلاتين) بين الواح الزجاج ؟ وماهي أفضل **مادة جلاتينية** مستعملة؟ وضح ذلك مع الرسم .

س9/ وضح مع الرسم آلية عمل الزجاج المقاوم للرصاص (الطلقات النارية).

س10/ ما المقصود بالأغشية اللدائنية المدعمة بالنانوسيراميك وماهي فائدة استعمالها على الزجاج؟ وماهي ابرز مزاياها بالمقارنة مع الاغشية اللدائنية الاخرى؟

س11/ ما مكونات الدهانات العازلة المستعملة على سطوح الزجاج ولأي غرض تستعمل؟

س12/ عدد خمسة استعمالات للزجاج المزدوج؟

س13/ باختصار كيف يمكن تصنيع الزجاج المنحني؟

س14/ ما المقصود بالزجاج الذكي؟ اذكر ثلاث تطبيقات له .

س15/ وضح بالرسم آلية عمل الزجاج الذكي المستعمل في الشبابيك والقواطع الزجاجية .

الفصل السابع

(خصائص الزجاج)

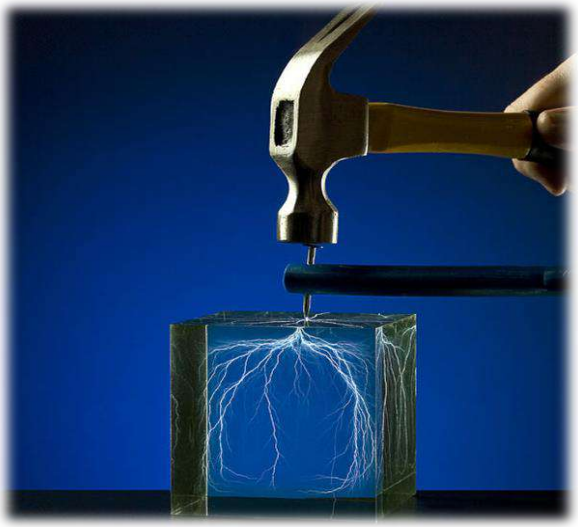
أهـداف الفصـــل الســـــابع:

من المتوقع أن يتعرف الطالب على :

- خصائص الزجاج المختلفة.
- طرق اختبار الزجاج.
- العوامل المؤثرة على خصائص الزجاج.

محتويات الفصل السابع

(7-1) الخصائص الكيمياوية
(7-2) التبلور او زوال الشفافية
(7-3) الخصائص الفيزيائية للزجاج
(7-4) الخصائص الميكانيكية
(7-5) الخصائص الحرارية
(7-6) الخصائص البصرية
(7-7) الخصائص الكهربائية
الاسئلة



الفصل السابع

(خصائص الزجاج)

تمهيد:

أن المواد الاولية الداخلة في صناعة الزجاج لها تأثير كبير على خصائصه, اذ ان خصائص الزجاج ترتبط ارتباطاً مباشراً بالمواد الاولية الداخلة والمكونة للزجاج، لذلك من الضروري الحفاظ على تركيب ثابت للمواد الاولية الداخلة في صناعة الزجاج. وللحفاظ على تركيب كيمياوي ثابت للزجاج يجب ان يكون تركيب المواد الاولية الداخلة في تركيب الزجاج ثابتا ايضا (لا يحصل تغير نتيجة المعاملات الحرارية) ولذا تكون خصائص ذلك النوع من الزجاج مستقرة وثابتة. ووجود الشوائب في المواد الاولية الداخلة في صناعة الزجاج يؤثر بشكل كبير على خصائص الزجاج والوانه.

1-7 الخصائص الكيمياوية:

يحتوي زجاج الكوارتز على (%55) من ثنائي اوكسيد السليكون (SiO_2) ويكون قويا من الناحية الميكانيكية والكيمياوية وبما ان التمدد الحراري لزجاج الكوارتز قليل جدا لذا يمكن تحمل الصدمات الحرارية العالية, ومن الضروري استعمال رمل الكوارتز فقط كمواد عند صناعة زجاج الكوارتز. ان درجة انصهار الكوارتز عالية جدا حوالي (1710^oC) والزجاج المنصهر يكون ذا لزوجة عالية. ولكي نقلل من درجة حرارة انصهار الخلطة يضاف عامل تعديل مثل كاربونات الصوديوم Na_2CO_3 والنتيجة تكون زجاج ذات خصائص ميكانيكية وكيمياوية جيدة.

يعد الزجاج من اكثر المواد مقاومة للتفاعلات الكيميائية ومقاوم جيد للتأكل وذلك في جميع درجات الحرارة فمثلا الزجاج المكون من السيلكا فقط ولا يحتوي على الصودا يقاوم الماء ومعظم الاحماض ماعدا حامض الهيدروفلوريك وكذلك حامض الفوسفوريك في درجات الحرارة المرتفعة. وتتوقف المقاومة الجوية للزجاج على تركيبه الداخلي فقد وجد ان الرطوبة بما تحويه من ماء او احماض يمكن ان تسبب تأكل الزجاج بمعدل (8 µm) في السنة.

يحل الماء العناصر القاعدية (Na^+ .K^+ .Ca^{++}) الموجودة في الزجاج لأنها ذات حركة اكبر في البنية الكيميائية للزجاج مما يؤدي إلى وجود هذه العناصر في السائل الذي تحويه عبوة الزجاج وهذا يؤدي

إلى جعل الماء قاعدي ورغم إن هذه القاعدية ضعيفة فإنها تكفي للمساعدة على حدوث تفاعلات كيميائية في حال استعمال القناني الزجاجية لحفظ المحاليل والادوية السائلة، من الامثلة على هذه التفاعلات:

1- ترسب القواعد الضعيفة

2- تحول إلى مركب اقل فعالية

3- تفاعل تصبن للاستر مثل الاتروبين

4- تأكسد المواد الفينولية مما يؤدي إلى مركبات غير فعالة أو تصبح اقل تلونا مثل المورفين والأدرينالين. إذن انحلال هذه الشوارد من الزجاج يؤثر على المحتوى الكيميائي مثل الدواء.

5- هذه التفاعلات تحدث اكثر بارتفاع درجة الحرارة

6- كما انه ليس فقط الماء المقطر له هذه التأثيرات على الزجاج وإنما أيضا المحاليل الحامضية لكن بشكل يؤدي إلى تشكل طبقة رقيقة جدا من السيليس المميه (مركبات السيلكا SiO_2) غير القابل للانحلال.

7- اما المحاليل القاعدية فتؤثر على العبوات الزجاجية بتخريب الروابط الكيميائية بين Si - O التي تشكل البنية نصف المنتظمة للزجاج، لذلك يجب ان نختبر تأثير الدواء (سائل) على الزجاج الذي سيحويه أو بمصطلح أخر مقاومة الزجاج للسوائل، ببساطة نأخذ العبوات المحضرة لاحتواء الدواء و نقوم بملئها بماء مقطر نقوم بسدها ثم وضعها تحت درجة حرارة 121 C° لمدة ساعة محتوى العبوات يفرغ في إناء زجاجي محايد و يعدل بواسطة حامض كلور - الماء بوجود ملون حساس نستنتج نسبة القاعدة في الماء و يجب الا تتعدى تلك المسموح بها و هذا ما تقوم به الرقابة الدوائية قبل تسويق الدواء.

الميزات الايجابية للعبوات الزجاجية هي:

1- خاملة كيماوية، مما يجعلها ملائمة لتعبئة العديد من المنتجات.

2- حافظة جيدة لطعم ورائحة المادة المعبأة بها ان احسن تغطيتها.

3- لها قابلية جيدة للتعقيم وبالتالي امكانية تعدد استعمالها

4- قابليتها لأخذ اية اشكال عبر عملية تصنيعها

5- سهولة تكوينها

6- امكانية حفظها لفترات طويلة

7- قابلية اعادة تصنيعها دون فقد شيء من مادتها.

اما عيوبها فهي:

1- ثقل وزن العبوة ، وبالتالي ارتفاع تكاليف نقل العبوات

2- قابليتها السريعة للكسر

3- احتياج عملية تصنيعها الى كمية كبيرة من الطاقة.

لذلك اجريت مجموعة من التحسينات عليها:

1- التوجه نحو استعمال زجاج خفيف، وخاصة لتلك المستعملة لمرة واحدة.

2- ادخال طبقة بلاستيكية مع الزجاج لإعطائه ميزة مقاومة للكسر والاقلال من الضوضاء خلال عمليات التعبئة والتداول.

3- ادخال الحاسوب الآلي في عمليات التصنيع وابداع اشكال واحجام مختلفة ذات قابلية للعديد من الاستعمالات المنزلية.

2-7 التبلور او زوال الشفافية: (Devitrification):

الزجاج مادة غير متبلورة لذلك تتواجد الذرات في تركيب الزجاج في مواقع عشوائية. وفي درجات الحرارة العالية يكون بإمكان الذرات المتحركة أخذ مواقع بحيث تتكون بلورات. ولكل زجاج حدود من درجة الحرارة تتكون عندها البلورات، وعند عمل المنتجات الزجاجية يكون من النادر جدا حصول مشكلة التبلور, اذ ان الزجاج يتصلد اعتياديا بسرعة عالية خلال حدود درجة التبلور بمجرد ملامسته القالب. ولكن في طرق انتاج الزجاج المسطح او الانابيب لا يوجد تماس مع القالب , لذلك تكون فرص التبلور اكبر. ولكل مركب زجاجي درجة حرارة حرجة (درجة حرارة السيولة اذ يكون الزجاج سائلاً ومستقرا عند درجة حرارة اعلى من هذه الدرجة ولكن اقل منها تتكون الاطوار البلورية).

يبدأ التبلور غالبا على السطح ويتجه الى الداخل بسرعة 1 mm/hour وتحت درجة حرارة معينة من المستحيل للذرات الحركة في الزجاج. ولا يمكن تكون بلورات الزجاج.

3-7 الخصائص الفيزيائية:

1- الكثافة :

يعبر عن كثافة الزجاج بوحدات (g/cm^3) وتعادل رقمياً الكثافة النوعية وكثافة السيلكا المصهور في درجة حرارة الغرفة تساوي ($2.2\ g/cm^3$) وعند اضافة اي اوكسيد اخر لتكوين زجاج السيلكا تزداد هذه الكثافة تقريباً في كل الحالات فيما عدا حالة زجاج البوروسيلكات، اذ ان له كثافة تساوي ($2.1\ g/cm^3$)

بينما كثافة الزجاج العادي (صودا- كلس- سيلكا) تتراوح بين ($2.46\text{-}2.5\ g/cm^3$) وتتغير الكثافة تبعا لتغير تركيب الزجاج – وبما انه من السهل قياس كثافة الزجاج لذا تستعمل هذه الخاصية كطريقة للسيطرة النوعية وفي تحديد تركيب الزجاج.

أما زجاج سيلكات الرصاص الذي يستعمل في البصريات وفي امتصاص الاشعاعات ذات الطاقة العالية تصل كثافته الى ($6.2\ g/cm^3$).

ويمكن حساب كثافة الزجاج من المعادلة السائدة:

$$\text{الكثافة}(\rho) = \frac{\text{الكتلة (m)}}{\text{الحجم (V)}} \ (\frac{g}{cm^3})$$

تذكر !!!!

يمكن حساب الكثافة والمسامية ونسبة امتصاص الماء للاجسام المسامية ومنها الزجاج الرغوي من العلاقات الاتية:

$$\text{(الكتلة الظاهرية)} \quad (A.D) = \frac{D}{S-I} \qquad (g/cm^3)$$

$$\text{(النسبة المئوية للمسامية الظاهرية)} = \frac{\text{حجم المسامة المفتوحة}}{\text{الحجم الكلي}} \times 100$$

$$A.P\% = \frac{S-D}{S-I} \times 100$$

$$\text{(النسبة المئوية للمسامسة الكلية (الحقيقية))} \quad \% = 1 - \frac{\rho_b}{\rho_t} \times 100$$

$$\text{(النسبة المئوية لامتصاص الماء)} \quad (W.A)\% = \frac{S-D}{D} \times 100$$

حيث:

D: كتلة النموذج وهو جاف.

S: كتلة النموذج وهو رطب (بعد تشبع المسامات بالماء).

I: كتلة النموذج وهو معلق في الماء.

ρ_b, ρ_t: الكثافة الحقيقية والحجمية.

2- درجة حرارة الانتقال الزجاجي (T_g) Glass – Transition Temperature:

عند البدء بتبريد منصهر زجاجي عشوائي التركيب البلوري يحدث فيه تقلص (Shrinkage)

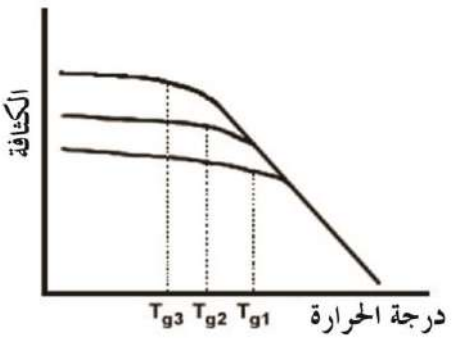
أي تناقص في الحجم مع انخفاض درجة الحرارة فإذا كانت النقطة (A) ، شكل (7-1) تمثل الزجاج بالطور السائل (Liquid Glass) وبدرجة حرارة أعلى من درجة حرارة الانصهار فتبدأ الذرات عند اقل من درجة

الحرارة في (A) بفقد طاقتها وتتصلب اذ يتكون خليط من الصلب- سائل, أما في درجة حرارة اقل من (T_m) يكون الزجاج بالطور الصلب ولكنه يحمل صفات السائل وتشمل المنطقة (2).

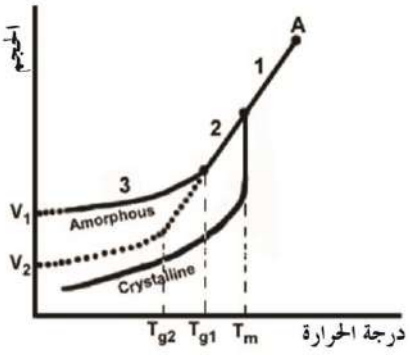
ولكن في نهاية المنطقة يحصل ثبات نسبي في الحجم مع استمرار انخفاض درجة الحرارة. درجة حرارة التحول من الحجم المتغير إلى الثابت تسمى درجة حرارة الانتقال الزجاجي (T_g) وتسمى المنطقة (2) (Super cooled liquid) وفي نهاية المرحلة يتخذ الزجاج الحجم النهائي والمنحني المنقط اي انه في حالة إطالة فترة التبريد (معدل التبريد بطيء) ($^oC/sec$) أي أن الفترة الزمنية التي يصل بها الزجاج إلى التصلب أطول فيكون معدل فقدانه للحرارة بطيء ولذلك (T_{g2}) تكون اقل من (T_{g1}) والحجم النهائي يكون اقل ولهذا تكون كثافة الزجاج أعلى.

هذا يعني أن معدل التبريد له تأثير شديد على خصائص الزجاج أما الخط الثاني فانه يشمل المادة المنصهرة التي تتحول إلى بلورية اذ لا تكون هناك درجة حرارة تحول إذا أصبحت المادة بلورية. أما تغير الكثافة مع انخفاض درجة الحرارة للزجاج فهي موضحة في الشكل (7-2).

ملاحظة: معدلات التبريد البطيئة للزجاج تؤدي إلى الحصول على زجاج بلوري يدعى الزجاج السيراميكي.



شكل 7-2 تغير الكثافة مع درجة حرارة تبريد منصهر الزجاج.



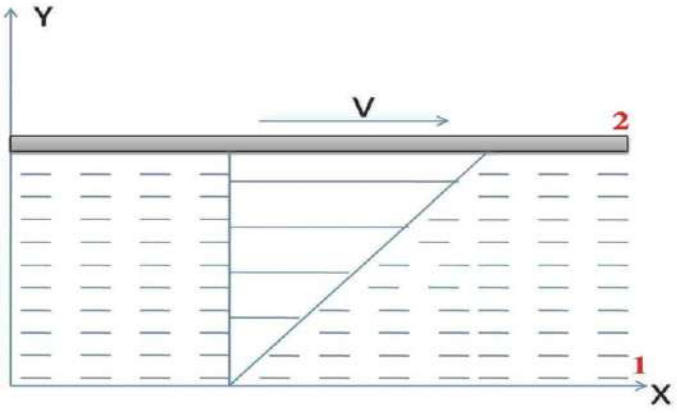
شكل 7-1 مخطط تبريد منصهر الزجاج وتظهر فيه درجة حرارة الانتقال الزجاجي.

3- اللزوجة :

تعد اللزوجة احدى الخصائص المهمة جدا للزجاج اذ ان تشكيل وتحويل الزجاج الى منتجات مختلفة يعتمد كليا على لزوجة الزجاج, ففي الانتاج الاوتوماتيكي للزجاج يكون من الضروري الحفاظ على

مستوى اللزوجة بشكل ثابت, ويمكن تعريف اللزوجة بأنها (احتكاك داخلي ناتج عن التماسك بين جزيئات السائل والذي يعيق حركتها فوق بعضها البعض).

نفترض وجود لوحين متوازيين بينهما مسافة y ومساحة كل منهما A ، ونفترض وجود سائل يملأ المكان بين اللوحين. فإذا بدأنا تحريك اللوح 2 بسرعة ثابتة v فتتحرك طبقة السائل الملاصقة للوح 2 أيضا بالسرعة .v وبما أن اللوح 1 ثابت لا يتحرك فإن طبقة السائل الملاصقة له تبقى لا تتحرك. أي أن طبقات السائل بين اللوحين ستتحرك بسرعات متناسبة طرديا مع المسافة بين اللوحين، لاحظ الشكل (7-3).



شكل 7-3 لزوجة السوائل

ويمكن ان تبين التجربة ان القوة F التي تحرك اللوح 2 تتناسب تناسبا طرديا مع مساحة اللوح A ، كما تتناسب تناسبا طرديا مع سرعة اللوح v ، وتتناسب تناسبا عكسيا مع المسافة y بين اللوحين، أي أن:

$$F \sim \frac{Av}{Y}$$

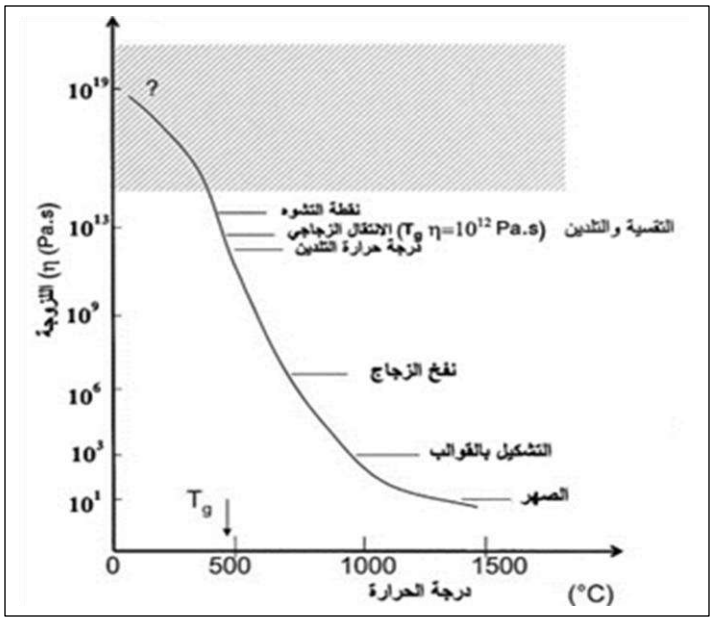
ويمكن تحويل العلاقة إلى معادلة بوساطة ثابت التناسب: η

$$F = \eta \frac{Av}{Y}$$

ويسمى ثابت التناسب η اللزوجة الحركية وأحيانا يقال لها اللزوجة. ووحدة قياسها هي البواز (poise) والبواز هي القوة بالداين المطلوبة لإبقاء سطحين مساحة كل منهما (1cm) متماسكين بسرعة (cm\s) في السائل.

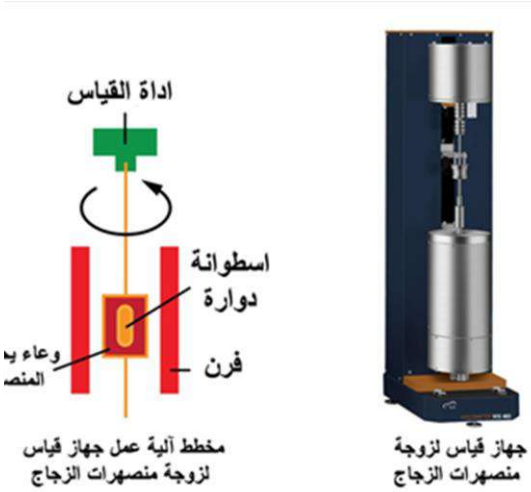
$$1\ \text{Poise} = 1\left(\frac{\text{g}}{\text{cm}\,.\,\text{s}}\right) = 0.1\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}.\,\text{s}}\right) = 0.1\ \text{Pa}.\,\text{s}$$

تتغير لزوجة الزجاج تبعا لتغير درجة الحرارة, فعند تخفيض درجة حرارة الزجاج الى (100^{o}C) تزداد اللزوجة ثلاثة اضعاف وللزجاج لزوجة تصل الى (100) بواز في درجة حرارة ($1400\ ^{o}$C) وفي درجة الحرارة ($1300\ ^{o}$C) تصل اللزوجة الى (300) بواز. تتغير اللزوجة مع درجة الحرارة، الشكل (4-7) اذ ان اوكسيد الصوديوم (Na_2O) واوكسيد البوتاسيوم (K_2O) يقللان من لزوجة الزجاج بينما يزيد منها اوكسيد الالمنيوم حيث نحتاج الى وقت طويل للتخلص من الحبيبات في الزجاج ذي اللزوجة العالية وبالعكس.



شكل 7-4 تغير لزوجة السوائل مع درجة الحرارة

وتستعمل اجهزة خاصة لقياس لزوجة الزجاج، شكل (5-7)، وتحتوي هذه الاجهزة على فرن يقوم بصهر الزجاج وتحويله الى سائل. وتعتمد الية عمل هذه الاجهزة على مقدار التغير في عزم دوران اسطوانات خاصة داخل المنصهر اذ يزداد عزم الدوران بازدياد لزوجة المنصهر بسبب زيادة اجهاد القص بين طبقات المنصهر.



شكل 7-5 جهاز قياس اللزوجة

4-7 الخصائص الميكانيكية:

متانة المادة هي قدرتها على حمل الضغط والشد والالتواء والانحناء والقص والقوى الاخرى قبل الانهيار او فقد صفات الليونة. تتأثر شدة الزجاج كثيرا بسبب طبيعة سطحه حيث تنتشر فيه خدوش او صدوع ميكروسكوبية وهي تحدث نتيجة قشط بوساطة مادة صلبة او حتى لمس الاصابع وايضا نتيجة احتكاك الزجاج ببعضه خلال عمليات التصنيع وهناك تفسير لهذه الصدوع:

التفسير الاول: وجود مناطق ضعف على سطح الزجاج موزعة توزيعا عشوائيا وهو تفسير العالم جريفز.

التفسير الثاني: نتيجة التركيب الجزئي او وجود فقاعات غازية غاية في الصغر وهو تفسير العالم جونز وهذه الصدوع تؤدي الى جعل القوة للزجاج اقل من واحد من مائة من القوة النظرية المحسوبة طبقا لقوة الرابطة بين روابط الذرات الداخلية ويظهر ذلك عند تعريض الزجاج لقوة مركزة او قوة شد فبدلا من حدوث سحب او تمدد يحدث انهيار وكسر فجاة تماما.

ويمكن زيادة المقاومة الداخلي للزجاج عن طريق :

1- محاولة تجنب نشوء هذه الشروخ قبل ان تبدأ، من خلال حماية سطح الزجاج بوساطة غشاء واقي من مادة اخرى حتى يتم حماية الزجاج من التفاعلات الكيميائية والصدمات.

2- محاولة تجنب وضع الزجاج في وضع الشد حتى اذا كانت هناك شقوق على سطح الزجاج لا تمتد الى الداخل فيحدث الكسر.

3- محاولة منع انتشار الشقوق اكثر وذلك بالتدعيم بالألياف لإعادة توزيع الاجهاد وقيام الالياف بامتصاص الاجهادات المؤثرة.

ولزيادة متانة الزجاج يمكن استعمال طرق عدة منها :

1- غمر الزجاج في مياه دافئة عدة ساعات فتحل الطبقة العليا من سطح الزجاج وتلتئم الشقوق.

2- بوساطة حامض الهيدروفلوريك بعمل حفر عميق ويؤدي ذلك الى التئام الشقوق مما يزيد من قوة الزجاج من 10 الى 20 مرة.

3- تندية سطح الزجاج بالسوائل العضوية الخاصة.

4- وضع لوح الزجاج الرقيق ذو معامل التمدد القليل بين طبقتين من الزجاج ذو معامل تمدد كبير.

تعد قوة الشد للزجاج العادي (صودا-كلس- سيلكا) نظريا حوالي ($100\ kg\backslash mm^2$) اما عمليا فان قوة الشد للمنتجات الزجاجية لا تتجاوز (1%) من هذه القيمة , وتعتمد المقاومة على الظروف السطحية فإذا كان التماس كيمياويا او ميكانيكيا ,تقل مقاومة الزجاج . وقد يحتوي السطح على شوائب صغيرة لا ترى بالعين المجردة تدعى (griffith flaws). ان مقاومة الزجاج للانضغاط تقارب (10 مرات) بقدر مقاومته للشد.

يبدأ الكسر غالبا من السطح, بينما لا يصيب الزجاج من الداخل سوى الخدش او بعض العيوب الاخرى على السطح.

المختبر في معمل الزجاج غالبا ما يفحص القناني اخذاً بنظر الاعتبار التحمل الحراري , وقد استخرج بالتجارب العملية الاجهاد الحراري الذي يمكن للقناني تحمله , النقطة الضعيفة في القنينية هي نقطة الالتحام والتي تتكسر عندما يسلط عليها اجهاد شد اعلى مما تحمله القنينة عندما يسكب في داخلها سائل حار او عندما تسخن وتوضع في سائل بارد .

تعتمد مقاومة الزجاج على درجة حرارة التلين , وبإضافة جهد انضغاط دائم للزجاج اذ تزداد المقاومة الميكانيكية تسمى هذه العملية (تقسية الزجاج). تفحص مقاومة القناني الخاصة بالمشروبات الغازية مختبريا استنادا الى ضغط البيروستاتي الداخلي, العامل المهم جدا والذي يؤخذ بنظر الاعتبار فيما يتعلق بمقاومة الزجاج هو ظروف السطح, وبالإمكان القول انه عادة لا تقاس مقاومة الشد لعينه من الزجاج وانما تقاس نقاط الضعف على السطح لذلك تعد معاملة سطح المنتجات الزجاجية مهمة جدا.

تأثير درجة الحرارة:

يسلك الزجاج في درجة الحرارة العادية وبعيداً عن درجة حرارة الانتقال الزجاجية، سلوك جسم صلب مرن مثالي تقريباً. وتحت تأثير إجهاد متزايد، يتناسب تشوه الزجاج خطياً مع الإجهاد حتى الانهيار الذي يحصل من دون إنذار. لهذا، يوصف الزجاج بقصافته وانعدام اللدونة الظاهرية ($\sigma = E\ \varepsilon$ حيث σ تمثل الإجهاد، E عامل المرونة، ε التشوه النسبي).

أما عند درجات حرارة قريبة من درجة حرارة الانتقال إلى الحالة الزجاجية، فإن الزجاج يظهر خاصية المرونة اللزجة viscoelasticity حيث يرتبط التشوه والإجهاد بالزمن.

لدى قياس الإجهاد الأعظم لانهيار الزجاج، يلاحظ أن تبعثر النتائج كبير، وأن قيم مقاومة الانهيار المقاسة منخفضة بالمقارنة مع المقاومة النظرية للزجاج. يعود التبعثر إلى الطبيعة الإحصائية لانكسار الزجاج،

ويعزى انخفاض المقاومة إلى الشقوق المجهرية micro cracks السطحية التي تشكل أعماقها الصغيرة الأبعاد مناطق يتركز عندها الإجهاد. قوة الضغط للزجاج منخفضة نسبياً مقارنة بالمواد غير العضوية الاخرى ، اما قوى الشد فهي من الخصائص المهمة لأنها ترتبط بكسر الزجاج ، وتتراوح قوة الشد ما بين 40 – 100 ميكا باسكال للأواني الضخمة، اما قوة مقاومة الضغط فتزداد بمقدار 10 – 15 مرة مقارنة بقوة الشد .

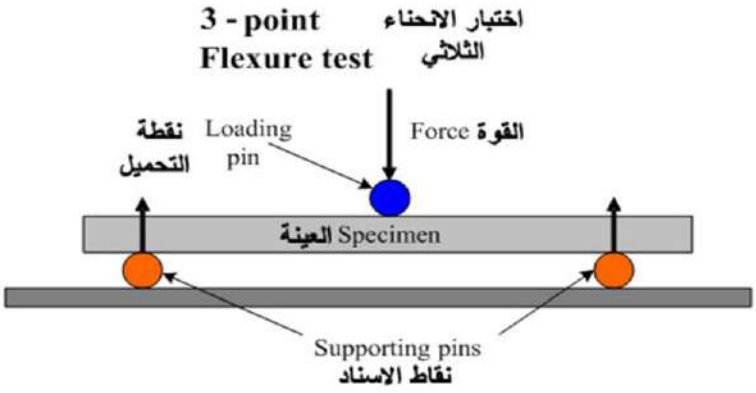
هناك خاصية اخرى من خصائص الزجاج الميكانيكية هي خاصية الصلابة ، التي يجري تعيينها بوساطة اختبار الخدش، ووفقاً لهذه الطريقة فان اصلب زجاج هو زجاج الكوارتز واقلها الزجاج الرصاصي.

الاختبارات الميكانيكية للزجاج:

1- مقاومة الانحناء (متانة الكسر):

يحسب اقصى اجهاد انحناء يتحمله لوح زجاجي ذو المقطع متوازي المستطيلات في اختبار الانحناء ذي النقاط الثلاث، شكل (6-7) من المعادلة الاتية :

$$\sigma_{max} = \frac{3\,P\,L}{2\,B\,h^2}$$



شكل 6-7 اختبار الانحناء الثلاثي النقط

اذ أن :

σ_{max} : اقصى اجهاد تتحمله العينة .

L : المسافة بين المرتكزات (نقاط الاسناد) (mm).

h : سمك العينة (mm).
P : الحمل المسلط (N).
B : عرض العينة (mm).

وهناك اختبار اكثر دقة من الثلاثي وهو الاختبار الرباعي النقط، شكل (7-7)، اذ تتوزع القوة المسلطة على منطقة اوسع لسطح العينة، وتحسب مقاومة الانحناء من العلاقة:

$$\sigma_{max} = \frac{3\,P\,a}{B\,h^2}$$

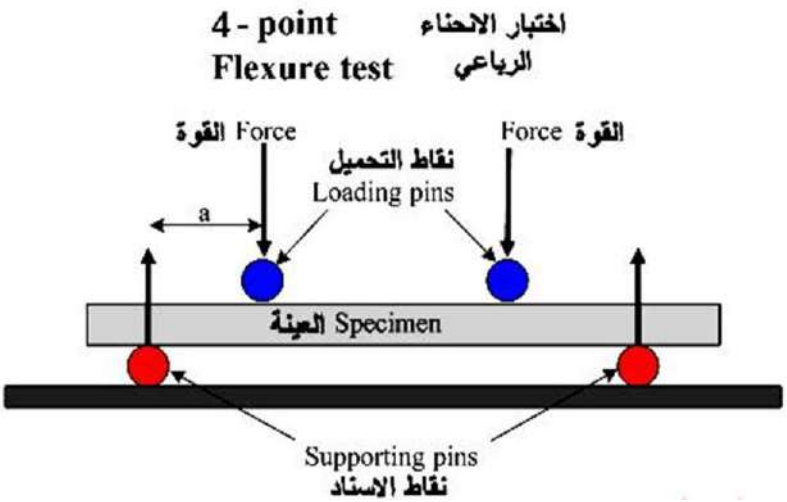
اذ ان a: المسافة بين خط تأثير القوة ونقطة الاسناد.

ويمكن حساب معامل يونك (E) من اختبار الانحناء الثلاثي (I)، من تحديد مقدار الانحناء (S) الحاصل نتيجة تأثير قوة مؤثرة مقدارها (F) وباستعمال العلاقة:

$$E = \frac{F\ I^3}{48\,M\,S}$$

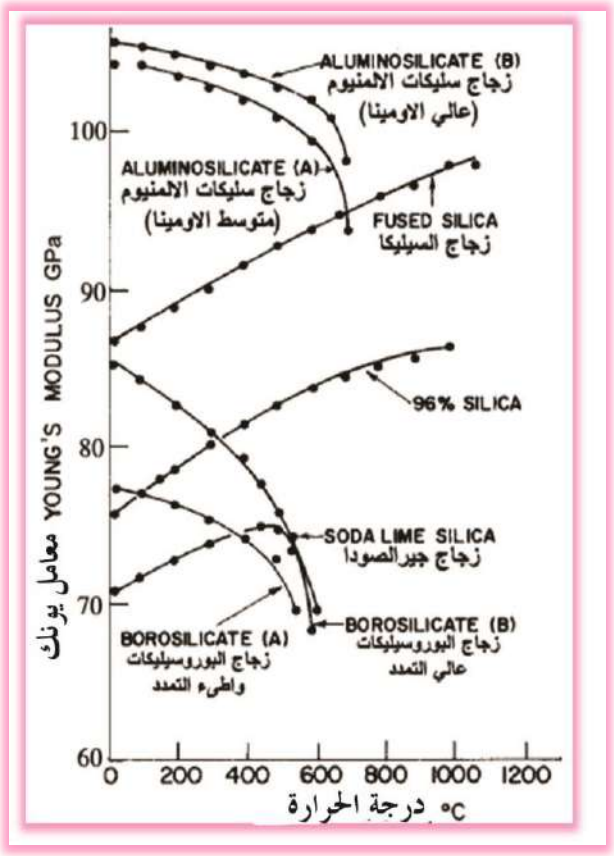
اذ ان M: عزم الانحناء الهندسي، ويحسب من العلاقة:

$$M = \frac{B\,h^3}{12}$$



شكل 7-7 اختبار الانحناء الرباعي النقط

مخطط **(للطلاع فقط)**، شكل (7-8) يوضح تغير قيم معامل يونك لأنواع مختلفة من الزجاج والزجاج السيراميكي.



شكل 7-8 تغير قيم معامل يونك مع درجة الحرارة لانواع مختلفة من الزجاج.

2- الصلادة:

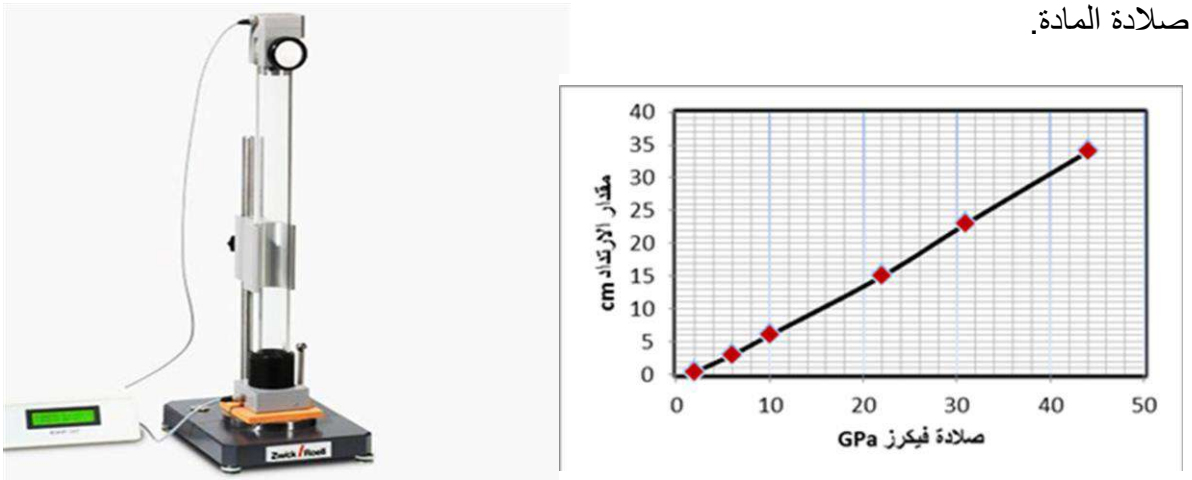
يقصد بالصلادة مقاومة المادة للخدش وتغلغل الاجسام داخلها، وترتبط الصلادة بمقاومة المادة للحك والبلى الميكانيكي، فهي تمثل قدرة المادة على مقومة السوفان الحاصل من احتكاك الأجسام مع بعضها. وتقاس الصلادة بطرق عدة ، ولكن الانسب في قياس صلادة الزجاج هو استعمال اختبار شورسكليروسكوب للصلادة (Shore scleroscope Hardness test)، او استعمال طريقة فيكرز(Vickers Hardness test) او مقياس موه (Moh's Scale).

a- اختبار شورسكليروسكوب للصلادة:

تمتاز عن الطرائق الاخرى للصلادة بكونها لا تترك اي اثر على سطح المادة بعد اجراء الاختبار (لا اتلافية) كما انها تستعمل للمواد شديدة الصلادة اذ ان من الصعوبة اجراء اختبار صلادة الاثر لها. ونظرا

لصغر الجهاز المستعمل، شكل (7-9) لذا يكثر استعماله لقياس صلاده القطع في مواقع العمل او الانتاج لسهولة نقله الى مكان الجسم المراد اختبار صلادته.

ان المبدأ الاساس لعمل جهاز قياس الصلادة بالارتداد يعتمد على حقيقة كون الطاقة الممتصة من قبل السطح عند اصطدام الكرة به يعتمد على خصائصه اذ ان تشكيل المواد او معاملته الحرارية ينعكس على مقدرته على امتصاص الطاقة من الكرة الساقطة وينعكس ذلك بشكل تغير في ارتفاع الكرة المرتدة. وباستعمال مخطط المعايرة بين صلادة فيكرز القياسية ومقدار الارتداد الحاصل في الجهاز يمكن تحديد صلادة المادة.



شكل 7-9 جهاز شورسكليروسكوب لقياس الصلادة مع مخطط المعايرة

b- صلادة فيكرز:

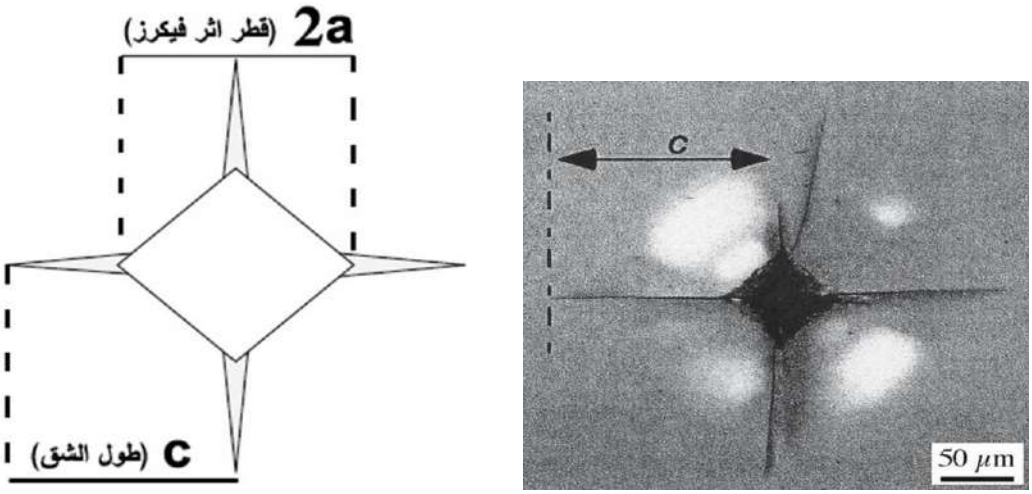
تكون اداة الغرز على شكل مضلع ماسٍ، وبعد تسليط قوة على اداة الغرز في جهاز الصلادة يتم بعدها تحديد معدل قطر الاثر، ولان المادة هشة فان شقوقا ستظهر على اطراف مضلع الاثر. ويمكن حساب الصلادة (H_V) من العلاقة:

$$H_V = \frac{P}{\alpha \cdot a^2}$$

حيث P: مقدار القوة المسلطة بوحدات N ، α: معامل عددي مقداره (α =2) في حالة صلادة فيكرز. اما a: فهو معدل نصف قطر اثر فيكرز.

بما ان المواد الزجاجية هشة فان شقوقا ستظهر بسبب تأثير اداة الغرز وتكون على اطراف الاثر. يتم قياس طول الشق (c) من اخذ صورة مجهرية للأثر وتكبيرها باستعمال المجهر الضوئي او الالكتروني، كما في الشكل (7-10)، ومن قياس طول الشق يمكن حساب شدة الاجهاد الحرج (ritical stress intensity) او تدعى متانة الكسر (Fracture toughness) (K_{IC}) باستعمال العلاقة:

$$K_{IC} = \frac{0.016\,(E/H_V)^{1/2}\ P}{c^{3/2}}$$



شكل 7-10 اثر مضلع فيكرز والشقوق المجهرية على اركان المضلع

c- صلادة موه (Mohs Scale):

مقياس موه (يطلق عليه احيانا موهس) لصلادة المواد وهو مقياس يستعمل للدلالة على قدرة المواد المختلفة على مقاومة الخدش. ويتم ذلك بفحص قدرة مادة صلبة على خدش مادة أقلّ صلادة منها. وضع هذا المقياس عام 1812م على يد عالم المعادن الألماني فريدريك موه. ويعد مقياس موهس مقياسًا ترتيبيًا، أي أنه يعطي المواد ترتيبًا معينا في قائمة المواد ولا يعطي القيمة المطلقة للصلادة. فمثال ذلك الألماس الذي يلي الكورندم حسب مقياس موه مع أن صلابته تقارب أربع أضعاف صلابة الكورندم. والجدير بالذكر أن العلماء العرب كانوا قد سبقوا موه في وضع مقياس لصلادة المواد والجواهر قبل مئات من السنين. وقد استندوا في ذلك على اختباراتهم المباشرة على مختلف أنواع المواد والجواهر المعروفة في عصرهم. ويعتبر

العالم العربي أحمد بن يوسف التيفاشي المولود عام 1184 م في مقدمة هؤلاء العلماء حيث أنه وضع مقياسين أحدهما لصلادة المواد شبيه بمقياس موه والآخر مقياس لحرارة وبرودة المواد حسب طريقة تكونها في باطن الأرض.

يمكن تحديد صلادة موهس بحك معدن معلوم الصلادة بأخر مجهول الصلادة او العكس . او باستعمال ادوات اختبار معروفة الصلادة كظفر الإنسان الذي تقدر صلادته بـ 2.5، او قطعة نقود معدنية حيث تقدر صلادتها بـ 3،او نصل سكين و صلادتها 4.5، أو بلوح زجاج الشبابيك صلادته 5.5، اوبمبرد من الصلب وصلادته 6.5.

الجدول الاتي يمثل نوع وشكل المعادن المستعملة في مقياس موهس مع ارقام موهس المقابلة لها:

صلادة موهس	المعدن	الصيغة الكيميائية	الصلادة المطلقة	صورة المعدن
1	Talc (التالك) يخدش بأظفر الاصبع بسهولة	$Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$	1	
2	Gypsum (الجبس) يخدش بأظفر الاصبع بصعوبة	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	3	
3	Calcite (كالسيت) يخدش بقطعة نقود معدنية	$CaCO_3$	9	
4	Fluorite (الفلوريت) يخدش بسكين بسهولة	CaF_2	21	
5	Apatite (ابيتايت) يخدش بسكين بصعوبة	$Ca_5(PO_4)_3(OH^-,Cl^-,F^-)$	48	

صلادة موهس	المعدن	الصيغة الكيميائية	الصلادة المطلقة	صورة المعدن
6	Feldspar (فلدسبار) يخدش بقطعة زجاج بصعوبة	$KAlSi_3O_8$	72	
7	Quartz (الكوارتز) يخدش بمبرد حديدي	SiO_2	100	
8	Topaz (توباز) يخدش بالكوارندم	$Al_2SiO_4(OH^-,F^-)_2$	200	
9	Corundum (الكورندم) يخدش بالألماس	Al_2O_3	400	
10	Diamond لا توجد اداة اختبار	C	1600	

5-7 الخصائص الحرارية:

1- التوصيلية الحرارية:

عزيزي الطالب من دراستك تعرفت على ان التوصيلية الحرارية تنتقل باربع اليات مهمة وهي الاشعاع والحمل والشبيكة (فونون) وتوصيلية الالكترون. وان من الطرائق العملية المتبعة لحساب قيمة التوصيلية الحرارية للمادة الصلبة العازلة هو تعريض احد اوجه النموذج لمصدر حراري وحساب درجة الحرارة عند الوجه المقابل. اذ توضع العينة في انحدار حراري حتى يتم توازن انسياب الحرارة الواصلة

الى الوجه الاخر وبذلك يتم حساب الخصائص الحرارية بحساب العوامل المؤثرة. وبصورة عامة يلاحظ ان هناك زيادة في قيم الموصلية الحرارية مع زيادة درجة الحرارة في المنطقة التي دون درجة الانتقال الزجاجي (T_g), ولكن فوق درجة الانتقال الزجاجي (T_g) فان الموصلية الحرارية تبدا بالنقصان مع زيادة درجة الحرارة.

وهناك عوامل تؤثر على التوصيلية الحرارية هي :

1- التركيب الكيمياوي للمادة.

2- المعاملة الحرارية السابقة للمادة.

3- الحالة الفيزيائية للمادة.

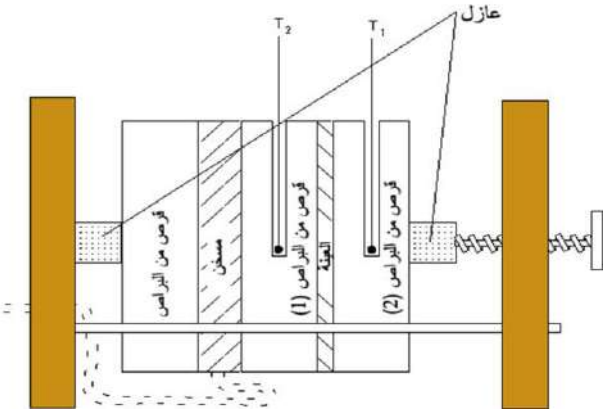
إن التوصيلية الحرارية هي مقياس لعملية الانتقال الحراري عبر المادة , الذي يعطى بالعــلاقة:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = -KA\left(\frac{\Delta T}{\Delta x}\right)$$

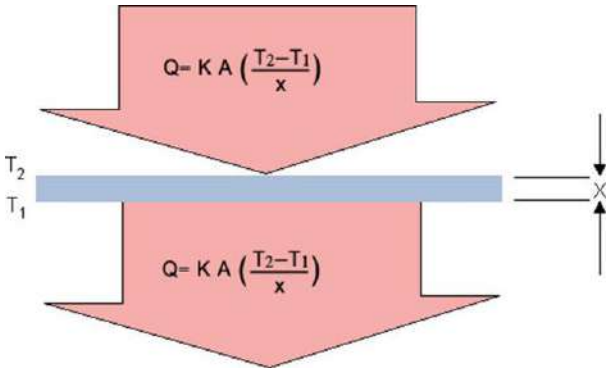
اذ ان : K يمثل معامل التوصيل الحراري، وان قياس التوصيلية الحرارية للنماذج على شكل قرص قطره كبير نسبة الى سمكه فعند وجود تدرج حراري ($\Delta T/\Delta x$) خلال وسط مادي بالاتجاه x فان التيار الحراري الناتج من الفرق في درجات الحرارة خلال مساحة المقطع العرضي العمودية لانسياب الحرارة A. ان الخصائص الفيزيائية التي تأخذ جهدا كبيرا التي تكون ذات اهمية للزجاج هي الخصائص التي ترتبط بصورة مباشرة بتغير سلوك المادة مع تغيير درجات الحرارة ومنها خاصية التوصيل الحراري، وممكن ايضا ان تعرف التوصيلية الحرارية على انها كمية الحرارة المنتقلة خلال وحدة المساحة للمادة لوحدة السمك ولوحدة الفرق في درجة الحرارة على جهتي المادة في وحدة الزمن. وتعرف أيضا على انها الحساب النسبي لقابلية المادة لتشتيت الحرارة.

يقاس معامل التوصيلية الحرارية باستعمال جهاز اقراص لي الموضحة بالأشكال (7-11) و (7-12).

باستعمال العلاقة اعلاه وعلى اعتبار ان القدرة الكهربائية المجهزة للمسخن هي (حاصل ضرب الفولطية في التيار) يمكن ان يحسب معامل التوصيل الحراري K.



شكل 7-11 مخطط جهاز اقراص لي.



شكل 7-12 انتقال الطاقة الحرارية خلال نموذج من الزجاج على شكل قرص.

الجدول التالي فيه قيم معامل التوصيل الحراري لأنواع مختلفة من الزجاج.

الزجاج	K معامل التوصيل الحراري (W/m.°k)	α ($^oC^{-1}$) x 10^{-6} معامل التمدد الحراري	C_p (J/kg.°k) السعة الحرارية النوعية
Fused silica (SiO_2)	**1.4**	**0.59**	**740**
Soda-lime-glass	**1.7**	**9-9.5**	**880**
Borosilicate (Pyrex) glass	**1.4**	**4**	**750**
Glass ceramic (Zerodur)	**1.43**	**0.1**	**800**

2- التمدد الحراري:

يحدث التمدد على كافة أبعاد الجسم كافة كالطول والعرض والسمك وتكون نسبة الزيادة حسب الأبعاد الهندسية للمادة ومقدار الزيادة يتناسب طردياً مع الطول الأصلي، لذا تكون الزيادة في الطول أكثر منها في العرض أو السمك.

يعطى معامل التمدد الحراري للزجاج بالعلاقة:

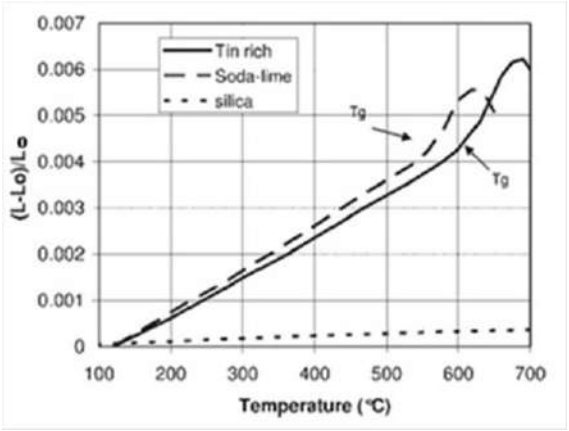
$$\alpha = \frac{1}{L_o}\left(\frac{\Delta L}{\Delta T}\right)$$

اذ ان: α معامل التمدد الحراري، L_o طول العينة الاصلي، ΔL التغير في الطول بعد التسخين الى مدى حراري مقداره ΔT، وعليه تكون وحدات معامل التمدد الحراري ($^oC^{-1}$).

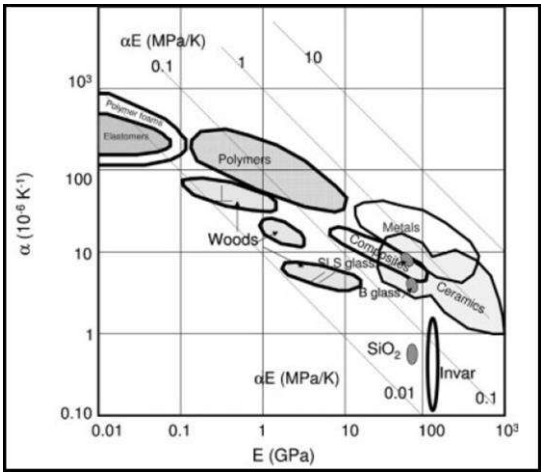
تمدد الزجاج بالحرارة من الخصائص المهمة في كثير من التطبيقات العلمية ، فعلى سبيل المثال الاجهادات الحرارية هي التي تحدد مدى التشغيل وتتناسب طردياً مع معامل التمدد الحراري.

يؤدي الانخفاض في معامل التمدد الحراري لزجاج البوروسيلكات ذي المحتوى المنخفض من المواد القلوية إلى مقاومة الزجاج للصدمات الحرارية مما يجعله مفيداً في تصنيع الأدوات المعملية وأواني الطهي وزجاج لحام الموليبيديوم ومرايا التلسكوبات.

لحساب معامل التمدد الحراري يتم رسم مقدار نسبة التمدد ($\Delta L/L_o$) على المحور الصادي ومقدار التغير في درجة الحرارة (ΔT) على المحور السيني فنلاحظ ان التغير يكون خطياً لمدى من درجات الحرارة الى ان يصل الى درجة حرارة الانتقال الزجاجي، كما موضح في الشكل (13-7) اذ نلاحظ ان درجة حرارة الانتقال الزجاجي يمكن تحديدها من التمدد الحراري وهي تقريباً (550 ^oC) لزجاج جير الصودا (Soda lime).



شكل 7-13 تغير نسبة التمدد مع درجة الحرارة لأنواع من الزجاج



شكل 7-14 علاقة معامل يونك مع معامل التمدد الحراري لمواد مختلفة.

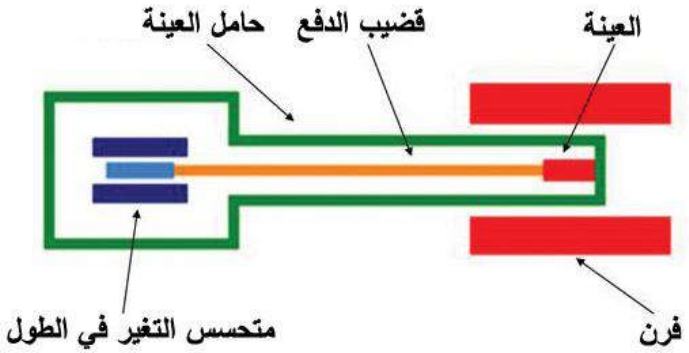
وترتبط الخصائص الميكانيكية بالحرارية من خلال علاقة معامل التمدد الحراري بمعامل يونك ، كما في الشكل (7-14)، اذ نلاحظ العلاقة عكسية بين معامل التمدد الحراري و معامل يونك فكلما كانت المادة ذات معامل تمدد حراري واطئ كان معامل يونك كبيراً وهذا واضح في المواد السيراميكية والزجاجية بالمقارنة مع البوليمرات.

يتغير معامل التمدد الحراري مع تغير درجات الحرارة وفق المعادلة الاتية **(للطلاع فقط):**

$$\alpha = 3.19\times10^{-6} + 3.6\times10^{-9}\,T - 1.68\times10^{-12}\,T^2 \quad (^oC^{-1})$$

يقاس التمدد الحراري باستعمال جهاز (ديالوتوميتر) وتستعمل العينات في شكل قضيب زجاج طوله عدة سنتمترات، كما في الشكل (7-15).

التمدد الحراري للزجاج يعتمد اعتماداً كبيراً على تركيب الزجاج ويزداد في وجود الاكاسيد القلوية وينقص مع وجود السيلكا خصوصاً.



شكل (7-15) مخطط جهاز قياس التمدد الحراري.

3- السعة الحرارية النوعية:

هي كمية الحرارة اللازمة لرفع درجه حرارة 1 كيلوغرام من المادة بمقدار درجه مئوية واحدة. ويرمز لها بالرمز (C_p) ووحداتها في النظام الدولي هي : ($J/kg.^oC$) وتحسب من العلاقة الاتية:

$$c_p = \frac{1}{m}\left(\frac{\Delta Q}{\Delta T}\right)_p$$

حيث: C_p: السعة الحرارية النوعية بثبوت الضغط (P)، m كتلة المادة، ΔQ التغير في الطاقة الحرارية.
والجدول المجاور يبين الحرارة النوعية لبعض المواد.

المادة	الحرارة النوعية (J/kg.°C)
الماء	4180
زيت الزيتون	1971
ألمنيوم	895
زجاج جير الصودا	832
نحاس	389
فضة	234
الزئبق	139
الذهب	125

وسبب اختلاف الحرارة النوعية من مادة إلى أخرى يعود إلى مدى تراص ذرات المادة وترابطها ومن ثم قدرتها على توصيل الحرارة. فعلى سبيل المثال: ذرات الحديد تكون متراصة بشكل نظام بلوري مكعب، و عند تسخينه تنتقل الحرارة بين أجزائه بسرعة وتزداد اهتزازات الذرات وترتفع درجة حرارته كتعبير عن حركة اهتزازات الذرات فيه .

أما في حالة الماء فإن جزيئات الماء ليست مترابطة بالشدة نفسها اذ توجد في الحالة السائلة ولا هي متراصة بل تتحرك بحرية كبيرة لذلك يكون توصيل الحرارة فيما بينها أضعف وتحتاج إلى قدر أكبر من الحرارة.

فإذا أخذنا كتلتين متساويتين من الماء و الزيت وقمنا بتسخين كل منهما لفترة متساوية اللهب نفسه فإننا نلاحظ بعد فترة أن درجة الحرارة الماء تكون أقل بكثير من درجة حرارة الزيت وهذا يعنى أن للماء سعة حرارية أكبر من السعة الحرارية للزيت . ولذلك نقول أن الحرارة النوعية للماء أكبر من الحرارة النوعية للزيت.

وعلى هذا الاساس فان السعة الحرارية النوعية تعتمد على نوع المادة والاواصر الرابطة بين الذرات، ولذا فان الانواع المختلفة من الزجاج ستختلف في مقدار السعة الحرارية النوعية.

يمكن قياس السعة الحرارية النوعية للزجاج باستعمال المسعر الحراري ومن خلال تسخين العينة الى درجة حرارية معينة، ثم توضع مباشرة في مسعر يحتوي على الماء، ومن خلال قياس التغير في درجة الحرارة وباستعمال المعادلة التالية **(للطلاع فقط)** يمكن تحديد السعة الحرارية النوعية للزجاج.

$$m_s.c_{ps}(T_s - T_2) = m_w.c_{pw}(T_2 - T_1) + m_c.c_{pc}(T_2 - T_1)$$

اذ ان :

m_s: كتلة العينة

C_{ps}: السعة الحرارية النوعية للعينة

T_s: درجة حرارة تسخين العينة قبل الغمر

T_2: درجة حرارة الماء في المسعر بعد وضع العينة في الماء

m_w: كتلة الماء

C_{pw}: السعة الحرارية النوعية للماء

T_1: درجة الحرارة الابتدائية للماء

m_c: كتلة المسعر

C_{pc}: السعة الحرارية النوعية للمسعر

4- مقاومة الصدمة الحرارية:

كما هو معروف ان الزجاج مادة هشة وذات حساسية تأثر عالية للصدمة الحرارية . فعندما يتعرض النموذج الزجاجي الى تغير مفاجئ بدرجات الحرارة ، يحصل عندها انحدار حراري شديد الذي بدوره سوف يغير في حجم النماذج ولذلك تتولد اجهادات داخلية تسبب الانهيار المفاجئ . ان الزجاج الذي يمتلك معامل تمدد موجب سوف يتعرض سطحه الى الانضغاط في حالة زيادة درجة الحرارة وهذا يتفق مع خاصية الزجاج في تحملها للإجهادات الانضغاط ، وعلى العكس فعند تبريد النموذج الزجاجي المفاجئ ، فأن سطح النموذج سيتعرض الى اجهادات شد مسببة فشل النموذج وتكسره ، وهذا متفق مع قابلية المواد الزجاجية الضعيفة للإجهادات الشدية.

وبناء عليه فان المواد ذات التمدد الحراري القليل لها مقاومة صدمة حرارية عالية بسبب قلة الاجهادات المتولدة .

في البداية يتعرض السطح الخارجي إلى حرارة ويبدأ سريان الحرارة إلى الداخل وعبر طبقات المادة إلى المركز وهنا تترك انتشارية المادة الحرارية (D) Thermal diffusivity اثراً مهماً وكما يأتي:

$$D = \frac{K}{\rho \times C_p}$$

حيث أن :

ρ : الكثافة .

C_p : السعة الحرارية النوعية.

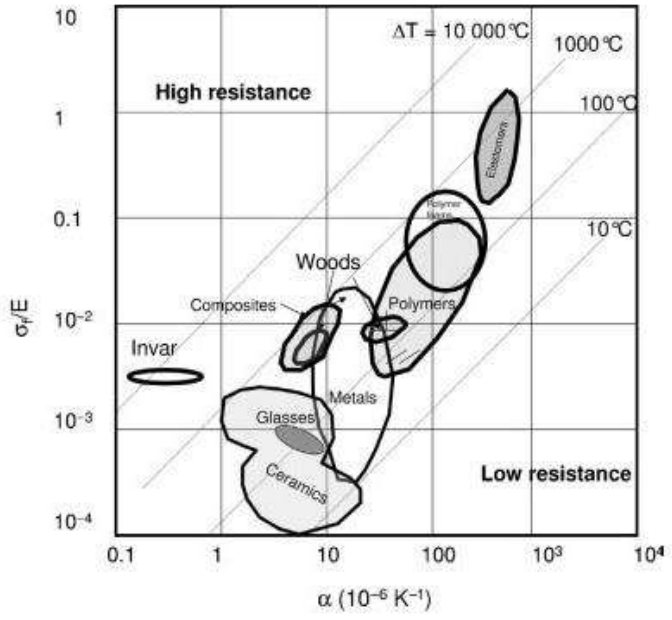
K : معامل التوصيل الحراري.

وعلى هذا الأساس تكتب معادلة مقاومة الصدمة الحرارية كالأتي:

$$R_{th} = \frac{\sigma_f(1-\mu)}{E\alpha}$$ في حالة الصدمة السريعة

$$R_{th} = \frac{\sigma_f K(1-\mu)}{E\alpha}$$ في حالة الصدمة البطيئة

حيث (μ) تمثل نسبة بوازون (Poisson's ratio) ، (σ_f) متانة الكسر، (α) معمل التمدد الحراري، (E) معامل يونك، (K) معامل التوصيل الحراري.وعلى هذا الأساس تعرف الصدمة الحرارية على أنها الجهد الذي يؤدي إلى الفشل عند تعرض المادة إلى مدى متغير من درجات الحرارة. ومن معادلة الصدمة الحرارية السريعة نلاحظ ان العوامل المؤثرة في مقاومة المادة للصدمة الحرارية هما معامل التمدد الحراري (α) والنسبة بين متانة الكسر الى معامل يونك (σ_f/E). تكون النسبة في الزجاج قليلة ، ولذا تكون مقاومة الصدمة الحرارية واطئة، على الرغم من انخفاض معامل التمدد الحراري للزجاج مقارنة مع المواد الاخرى، شكل (7-16) **(للطلاع فقط).**



شكل 7-16 تغير النسبة بين مقاومة الكسر الى معامل يونك مع معامل التمدد لمواد مختلفة.

6-7 الخصائص البصرية :

بما ان الزجاج مادة شفافة فانه يسمح بمرور الضوء وسبب هذه الشفافية هو ان جزيئات الزجاج غير المنتظمة المنفصلة في تركيبها اصغر كثيرا من الطول الموجي للضوء المرئي اي ليس هناك بناء كبير بدرجة كافية لإعاقة مرور موجات الضوء في الطيف الضوئي . وبزيادة نسبة السيلكا في التركيبة الزجاجية يصبح الزجاج اكثر شفافية اي اكثر سماحا بمرور الاشعة القصيرة الموجة فوق البنفسجية وفي الوقت نفسه يصبح معتماً للأشعة الطويلة الموجة تحت الحمراء لأنه يمتصها ولا يمررها .

والزجاج الذي يحتوي على المعدن الثقيل الفلورايد يسمح بمرور الضوء ذي الموجات الطويلة والزجاج الذي يحتوي على النحاس يسمح بمرور موجات حتى (18 µm) اي حتى وسط المنطقة تحت الحمراء.

الاشعاع الشمسي والزجاج:

عند سقوط الشعاع الشمسي على سطح لوح الزجاج ينكس جزء منه بينما ينفد الباقي الى داخل الزجاج، فينعكس جزء منه من السطح الداخلي للزجاج، وتتوقف النسبة المنعكسة على معامل انكسار الزجاج وزاوية السقوط ، حيث تزيد النسبة المنعكسة بزيادة كل منها.

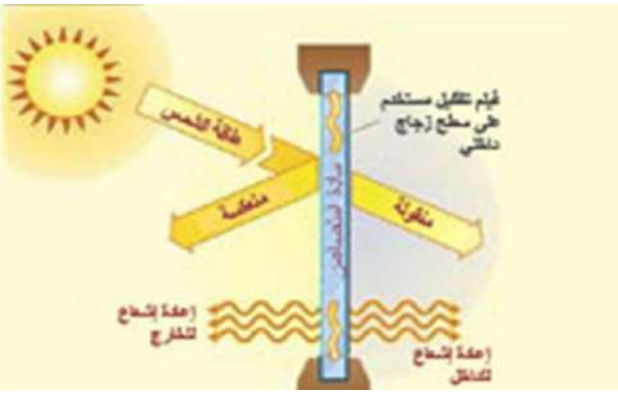
وبالنسبة للزجاج العادي (معامل انكساره 1.5) ينعكس 4% من الاشعاع الساقط عموديا على سطحه الخارجي، ومثلها تقريبا من السطح الداخلي، ولا يتوقف ذلك على سمك الزجاج ولا لون مادته.ويمكن زيادة هذه النسبة بطلاء السطح الخارجى بطبقة رقيقة من المعدن العاكس (سمكها 3-20 µm) لتصل إلى 20%، آما يمكن اختيار مواد الطلاء لتكون أكثر انعكاسا للأشعة تحت الحمراء من انعكاسيتها للضوء المرئى، او يمكن انقاص الانعكاسية بطلاءات خاصة تقلل من لمعان السطح، وان كانت عملية تقليل الانعكاس غير مفيدة حراريا ولكنها تستعمل لتحسين الرؤية عبرالزجاج فى بعض التطبيقات المعمارية بينما تستعمل بكثافة فى الشاشات والنظارات وعدسات التصوير.

الامتصاص:

عند سقوط الضوء فالشعاع الذى ينفذ من السطح يمتص و يتشتت جزء منه داخل الزجاج تتحدد قيمته بسمك الزجاج ونقائه ونوع مادته، وبالنسبة للزجاج العادى سمك 3 mm يمتص 6-9 %من الأشعة الساقطة فى

جسم الزجاج، وتزيد النسبة الممتصة إلى الضعف تقريبا بزيادة سمك الزجاج، وتتحول هذه النسبة إلى

حرارة تسخن الزجاج ثم يعاد نقلها من الزجاج بالتوصيل وبالإشعاع فى صورة أشعة حرارية (تحت حمراء بعيدة)، شكل (7-17).



شكل 7-17 اشعة الشمس الساقطة والمنعكسة والنافذة من الزجاج

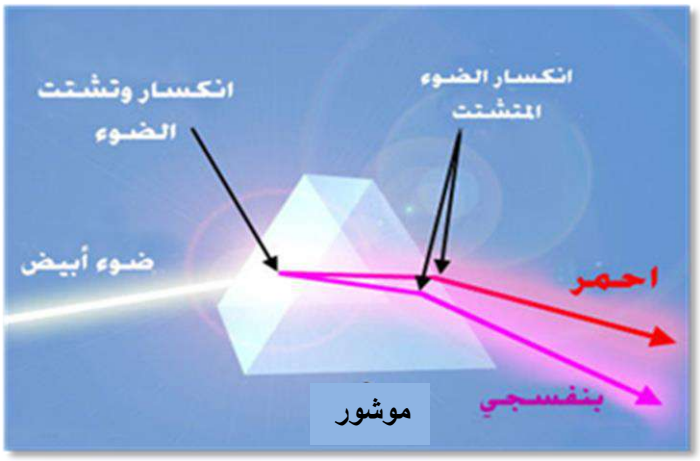
الساعة	مقدار الشدة النافذة Lux	معامل الامتصاص $\alpha\ m^{-1}$
10 صباحا	70000	0.031
12 صباحا	75000	0.013
2 مساء	59000	0.037
4 مساء	50000	0.025
5 مساء	45000	0.021

وعادة ما يكون الزجاج الملون أو الداكن ماصا للإشعاع الشمسى بنسبة تزيد عن الزجاج العادى ويمكن التحكم فى نسبة الامتصاص بزيادة نسبة الشوائب فى الزجاج واختيار مادة الشوائب لتحدد الألوان والأطوال الموجية التى يتمامتصاصها،بحيث يكون امتصاصه انتقائيا. ويفضل بالطبع زيادة امتصاص الزجاج للأشعة تحت الحمراء وفوق البنفسجية، وتقليل امتصاص الضوء المرئى.

الانعكاس الداخلى والانكسار:

يصل الشعاع الذى لم يمتص إلى السطح الداخلى للزجاج فينفذ جزء منه إلى الفراغ الداخلى، وينعكس جزء آخر مرة أخرى ليدخل فى سلسلة من الانعكاسات الداخلية.و ينكسر الشعاع الذى يمر من السطح الخارجى بسبب فارق الكثافة الضوئية بين الهواء والزجاج، فيمر داخل الزجاج بزاوية تختلف عن زاوية سقوطه، ولكن عند خروجه من السطح الآخر للزجاج ينكسر مرة أخرى فيستعيد اتجاهه الأصلى إذا كان السطحين متوازيين (وهو الوضع المعتاد) بينما يمكن إذا تغيرت زوايا السطح الداخلية (مثل حالة الزجاج الزخرفي) أن ينعكس الشعاع انعكاساً داخليا آليا بحيث يعود للخارج، وهي خاصية تستعمل فى تصميم الزجاج ذو

النفاذية الانتقائية مع الاتجاه. ويمكن توضيح ظاهرة الانكسار من خلال مرور الضوء داخل موشور، كما في الشكل (7- 18) **(للطلاع فقط).**



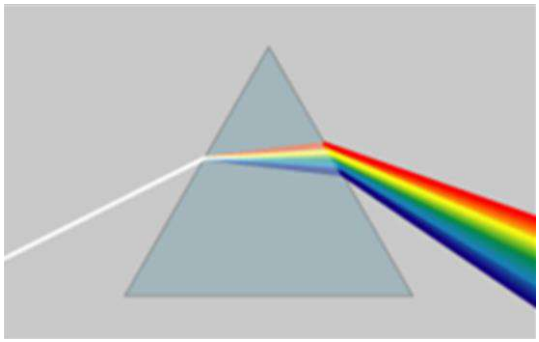
شكل 7-18 ظاهرة الانكسار في منشور زجاجي.

إعادة بث الإشعاع الحرارى:

تتحول النسبة الممتصة من الإشعاع إلى حرارة تسخن الزجاج ثم يعاد نقلها من الزجاج بالتوصيل وبالإشعاع فى صورة أشعة حرارية (تحت الحمراء بعيدة). فيتجه جزء من هذا الشعاع للخارج وجزء للداخل، وتتوقف النسبة المتجهة للداخل والخارج على عوامل عدة أهمها الخواص الإشعاعية لسطحي الزجاج ، ولكن يمكن بتبسيط مقبول فى معظم الأحوال اعتبار أن نصف الإشعاع الحرارى يتجه للداخل بينما يتجه نصفه للخارج. والزجاج منخفض الانبعاثية يعمل على التعامل مع هذه المشكلة بتقليل انبعاثية السطح الداخلي للأشعة الحرارية مما يجعل نسبة أقل من الحرارة الممتصة تتجه للداخل.

التشتت:

عندما يمر الضوء الابيض من خلال الموشور الزجاجي يتشتت الى الالوان الاساسية للطيف المرئي، شكل (7-19) والسبب في ذلك ان زاوية الانكسار تختلف طبقا لطول الموجة الخاصة بكل لون فيكون معامل الانكسار اكبر لطول الموجة الصغير للضوء البنفسجي منه لطول الموجة الكبير للضوء الاحمر.



شكل 7-19 تحلل الضوء بوساطة موشور زجاجي.

ان معظم منتجاتنا تصنع من زجاج عديم اللون, وبسبب وجود الشوائب في كثير من المواد الاولية , فأن وجود قليل من اوكسيد الحديد يعطي الزجاج اللون الاعتيادي المائل الى الخضرة الخفيفة . ومن المعلوم ان اشعة الشمس تحتوي على من ثلاثة انواع من الضوء :

1- الاشعة فوق البنفسجية .
2- الاشعة المرئية.
3- الاشعة تحت الحمراء .

تنعكس قسم من الضوء الذي يسقط على جدار زجاجي – ويمتص القسم الاخر اما الباقي فينفذ من خلال الجدار الزجاجي . ويمكن ايجاد نسبة الضوء المنعكس باستعمال العلامة التالية :

$$R = \frac{(n-1)^2}{(n+1)}$$

R= الانعكاسية ،n= معامل الانكسار

<u>قياس معامل الانكسار للزجاج:</u>

من اهم خصائص الزجاج المستعمل في البصريات خاصيتي معامل الانكسار (Refractive index)، وخاصية التشتيت "Dispersion" فمعامل الانكسار المطلق (n) لمادة شفافة يعرف بالعلاقة:

$$n = \frac{C}{V}$$

اذ ان :

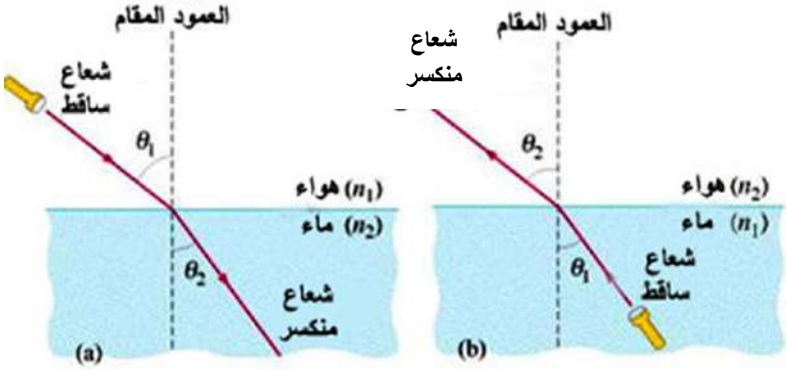
(C) هي سرعة الضوء في الفراغ

(V) سرعة الضوء في المادة الشفافة

كما وانه يمكن الحصول على قانون سنيل والذي يعطى بالعلاقة التالية

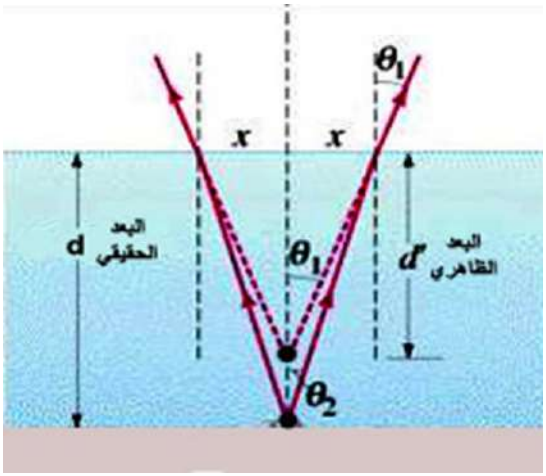
$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$$ قانون سنيل

وينطبق هذا القانون على الضوء المنتقل من الوسط الاقل كثافة الى الوسط الاكثر كثافة او بالعكس ، كما في الشكل (7-20) **(للطلاع فقط).**



شكل 7-20 انكسار الضوء حسب قانون سنيل.

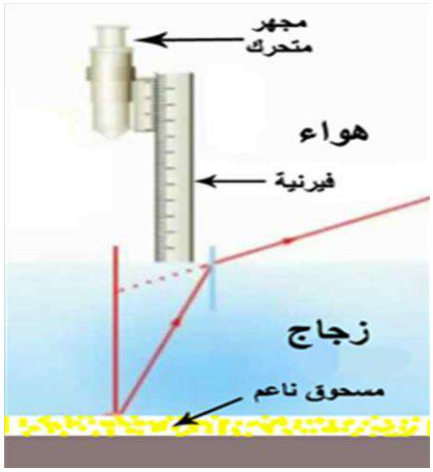
ويمكن وصف معامل الانكسار بطريقة اخرى وهي: هو النسبة بين البعد الحقيقي الى البعد الظاهري. يفسر البعد الظاهري على اساس تكوّن صورة للأجسام المرئية من خلال وسط شفاف مثل الزجاج، على انها اقرب بعداً من البعد الحقيقي بسبب تكون صورة وهمية من امتدادات الاشعة المنكسرة، كما موضح بالشكل (7-21) **(للطلاع فقط)**..



شكل 7-21 انكسار الضوء بدلالة العمق الحقيقي والظاهري

معامل الانكسار = البعد الحقيقي / البعد الظاهري

$$n = \frac{d}{d'}$$



شكل 7-22 مخطط المجهر المتحرك المزود بالورنية لقياس معامل الانكسار للزجاج.

يمكن استعمال الميكروسكوب المتحرك (Travelling microscope) المزود بالورنية (القدمة)، شكل (7-22) لتحديد العمق الظاهري بعد وضع مسحوق ناعم تحت الشريحة الزجاجية وتغيير ورنية المايكروسكوب للحصول على اوضح صورة للمسحوق وتسجيل العمق الظاهري.

وقيمة معامل الانكسار تتوقف على تركيب الزجاج وطول موجة الضوء الساقط ، وهذا هو السبب في ان الضوء الابيض يتحلل الى طيف مستمر عند مروره داخل موشور. يتغير معامل الانكسار مع الطول الموجي لزجاج البصريات .

قيم معامل الانكسار للأكاسيد الصلبة يقع في مدى (1.3 الى 2.7) بينما لزجاج السيلكا يتراوح بين (1.5 – 1.9) يزداد معامل الانكسار بزيادة اوكسيد الرصاص، اوكسيد الباريوم ويزداد التشتت بازدياد معامل الانكسار.

7-7 الخصائص الكهربائية:

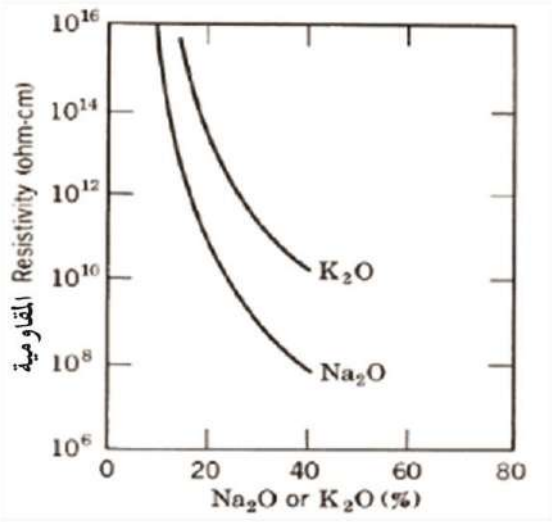
يعد الزجاج عازلاً جيداً للكهرباء ويرجع ذلك لطبيعة التركيب الداخلي للزجاج بما فيه من روابط داخلية قوية وكذلك بسبب اللزوجة العالية للزجاج مما يجعل الايونات المشحونة التي تحتويها معظم انواع الزجاج محددة الحركة فتقل قدرتها على التوصيل الكهربائي.

التوصيلية الكهربائية للزجاج تتغير مع درجة الحرارة، فالزجاج موصل للتيار الكهربائي في درجة حرارة الغرفة اما في درجات الحرارة العالية, فالزجاج موصل جيد للتيار الكهربائي وبالإمكان استعمال طريقة الصهر الكهربائية في افران الزجاج حيث تغطس اقطاب المولبيدنوم في حوض الزجاج.

كلما زادت لزوجة الزجاج بسبب تناقص درجة الحرارة قل توصيل الزجاج للكهرباء ويعتمد العزل الكهربي على تحرك الايونات المعدنية القلوية الاحادية التكافؤ الحاملة للشحنات الكهربية ومن ثم تحدد

القابلية للتوصيل الكهربي فالزجاج الذي يحتوي على نوعين او اكثر من الايونات القلوية المختلفة له قدرة توصيل كهربي ضعيفة اكثر من وجود نوع واحد من الايونات القلوية.

من اهم الخصائص الكهربائية خاصية التوصيل الكهربائي للزجاج وله طبيعة الكترونية عند درجات الحرارة المنخفضة فإن القلويات لوحدها تشترك في عملية التوصيل الكهربائي للتيار لذا فإن التوصيل يتم تعينه بتركيز ايونات الصوديوم فتزداد التوصيلية الكهربائية مع زيادة اوكسيد الصوديوم والبوتاسيوم ، كما موضح بالشكل (7-23)، فاذا كان المطلوب زجاجاً ذا مقاومة عالية فلابد من تخفيض كمية القلويات ما امكن ذلك باستعمال اوكسيد الرصاص والباريوم كمعدلات.



شكل 7-23 تغير المقاومة النوعية للزجاج مع زيادة نسبة الاكاسيد القلوية.

خصائص العزل الكهربائي:

تعرفت عزيزي الطالب من دراستك السابقة لخصائص العزل الكهربائي للمواد السيراميكية على آلية العزل الكهربائي وهي مشابهة للزجاج فيما عدا تأثير المسامية حيث لا توجد مسامات ظاهرية في الزجاج. وفيما يلي ابرز مصطلحات العزل الكهربائي:

1- الاستقطاب الكهربائي Electrical Polarization:

جزئيات المادة تتأثر بالمجال الكهربائي لأنه يسلط قوة على هذه الجسيمات المشحونة مما يؤدي الى ازاحة كل الشحنات الموجبة والسالبة عن موضع الاتزان، ويقال عن العازل انه مستقطب polarized.

2- سعة العازل Dielectric Capacitance :

جميع المتسعات الكهربائية تحتوي فضلاً عن السعة هناك مقاومة للمادة العازلة وسنفترض ان لكل متسعة C_p مقاومة ذاتية R_p مرتبطة على التوازي (الرمز p للدلالة على حالة التوازي). السعة هي القابلية على خزن الشحنات الكهربائية (Q) والتي يخزنها العازل، وتعطى بالعلاقة الاتية .

$$Q = C_p V$$

اذ أن :

(V) تمثل الفولطية

(C_p) السعة

والفولطية المسلطة تتناسب مباشرة مع معدل الشحنة المخزونة التي تساوي التيار المار خلال العازل اذ يعطى :

$$V = \frac{Q}{C_p} \Rightarrow \quad I = C_p \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

السعة الكهربائية لمتسعة ذات مساحة (A) وسمك (d)، يفصل لوحيها الفراغ تحتسب من العلاقة

$$C_o = \frac{A}{d} \varepsilon_o$$

اذ ان :

C_o سعة المتسعة عندما يكون بين لوحيه الفراغ .

(ε_o) هي سماحية الفراغ وقيمتها تساوي (8.854×10^{-12} F/m).

تذكر!!!

- توصف المقاومة الكهربائية للمادة (R) بدلالة طول النموذج (L) ومساحة المقطع (A) والمقاومة النوعية للمادة (ρ)، وتعطى بالعلاقة:

$$\mathbf{R = \rho \frac{L}{A}}$$

- التوصيلية الكهربائية (σ) هي مقلوب المقاومة النوعية:

$$\mathbf{\sigma = \frac{1}{\rho}}$$

- قانون اوم الذي يربط بين التيار (I) والفولطية (V) والمقاومة (R) :

$$\mathbf{R = \frac{V}{I}}$$

3- ثابت العزل الكهربائي Dielectric constant:

ثابت العزل الكهربائي للمادة هو النسبة بين سعة المتسعة بوجود المادة العازلة الى سعة المتسعة في الفراغ:

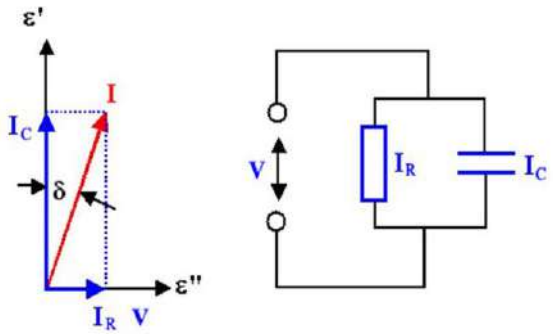
$$\varepsilon' = \frac{C_p}{C_o} = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_o}$$

حيث: (ε) سماحية المادة العازلة، (ε') ثابت العزل للمادة وهو خاصية المادة التي تحدد السعة عندما تستخدم مادة عازلة، اي ان:

$$\varepsilon' = \frac{C_p \,.\, d}{\varepsilon_o \,.\, A}$$

4- زاوية الفقدان العزلي:

في المتسعات فرق الطور بين التيار السعوي I_C والتيار المار في مقاومة المتسعة I_R هو 90^o ولكن هذه القيمة مثالية اذ تقل عن هذه القيمة بمقدار δ التي تمثل زاوية الفقدان العزلي، كما موضح بالشكل (7-24).



شكل 7-24 المخطط الطوري للفولطية والتيار لمتسعة مع مقاومتها على التوازي، موضحاً زاوية الفقدان العزلي.

5- عامل الفقد:

هو العامل الناتج من حاصل ضرب سماحية العازل في ظل زاوية الفقد أي :

$$\varepsilon'' = \varepsilon' \tan \delta$$

ومن الشكل اعلاه يمكن الوصول الى العلاقة الاتالية:

$$\varepsilon'' = \frac{d}{\omega \varepsilon_o R_p A}$$

حيث: ω يمثل التردد الزاوي ويحسب من العلاقة:

$$\omega = 2\pi f$$

وان f هو تردد المصدر، R_p مقاومة المادة العازلة.

اهم العوامل المؤثرة في ثابت العزل الكهربائي والفقدان العزلي هي: تردد فولطية المصدر، درجة الحرارة، الرطوبة.

6- متانة العازل Dielectric Strength

وتقاس متانة العازل بدلالة المجال الكهربائي $[E_{br}]$ وهو يمثل المجال الذي ينهار او يفشل عنده العازل، فإذا كانت الفولتية القصوى التي يحصل عندها الانهيار V_{br} لعازل سمكه h فان متانة العزل تعطى بالعلاقة :-

$$E_{br} = \frac{V_{br}}{h}$$

وتقاس متانة العازل او الانهيار الكهربائي بوحدات kV/cm او kV/mm .

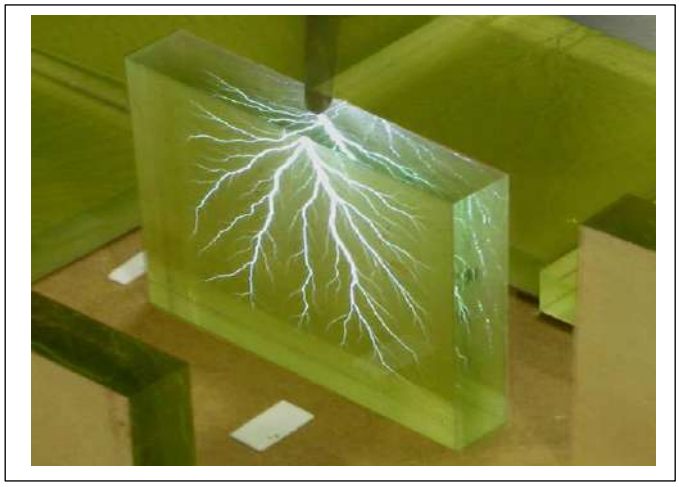
تعتمد متانة العزل الكهربائي على عوامل ومنها التركيب الداخلي للعازل، هندسة ونوع الاقطاب، الرطوبة، التردد، السمك، درجة الحرارة، المعدل الزمني لصعود الفولطية.

تحصل شقوق عى حافات منطقة الانهيار الكهربائي، شكل (7-25)، قد تؤدي الى خطر الكسر الميكانيكي اذا استمر الشق بالنمو مع الزمن بفعل اجهادات ميكانيكية مؤثرة على العازل عند استعماله في منظومات العزل الكهربائي ومنها عوازل خطوط نقل الطاقة الكهربائية – الجهد العالي، شكل (7-26).

شكل 7-25 الشقوق الظاهرة على حافة منطقة الانهيار الكهربائي للزجاج.

شكل 7-26 العوازل الكهربائية الزجاجية المستعملة في خطوط نقل الطاقة الكهربائية (الجهد العالي).

يمكن الاستفادة من الانهيار الكهربائي للزجاج في تشكيل نقش على شكل شجيري في داخل الجسم الزجاجي وتدعى شكل ليشتنبرك Lichtenberg Figure ، كما في الشكل (7-27).



شكل 7-27 شكل ليشتنبرك الحاصل في الزجاج بسبب الشرارة الكهربائية الناشئة عن الانهيار الكهربائي.

أسئلة ومسائل الفصل السابع

س1/ ما الاضرار التي قد يؤديها تفاعل الماء مع مكونات بعض انواع الزجاج على الدواء المحفوظ داخلها ؟

س2/ أشرح طريقة يمكن من خلالها فحص القناني الزجاجية الصالحة لحفظ الادوية ؟

س3/ متى يحصل التبلور في الزجاج ؟ وماهي الاضرار الناجمة عن تبلور الزجاج ؟

س4/ زجاج رغوي كتلته وهو جاف 200 g وهو مشبع بالماء 250 g ، وهو معلق بالماء 150 g، أحسب: 1- المسامية الظاهرية 2- الكثافة الظاهرية 3 - نسبة امتصاص الماء

الجواب / (A.P =50% , A.D= 2 g/cm^3 ,W.A=25%)

س5 / عرف درجة حرارة الانتقال الزجاجي وهل تتأثر قيمتها بمعدلات تبريد الزجاج وضح ذلك ؟

س6/ فسر لماذا لا تمتلك المواد السيراميكية درجة حرارة انتقال زجاجي مثل تلك الموجودة في الزجاج؟

س7/ هل تتأثر لزوجة الزجاج بكمية ونوع الاكاسيد الداخلة في خلطة الزجاج ؟ وضح اجابتك بالأمثلة.

س8/ من الشكل (7-4) جد قيمة اللزوجة ودرجة الحرارة اللازمة للعمليات التالية (ناقش الارقام المستحصلة): 1- نفخ الزجاج 2- التلدين

س9/ ماهي تفسيرات ظهور الصدوع على سطح الزجاج ؟

س10/ كيف يمكن تجنب امتداد الشقوق المجهرية الى داخل الجسم الزجاجي ؟

س11/ ايهما افضل اختيار متانة الانحناء للزجاج بطريقة الانحناء ثلاثي النقط او رباعي النقط ؟ فسر اجابتك.

س12/ أحسب متانة الانحناء ثلاثي النقط ، لشريحة زجاجية سمكها 6 mm والمسافة بين المسندين 40 mm وعرضها 20 mm اذا كانت أقصى كتلة تتحملها العينة 50 kg؟

س13/ أحسب متانة الكسر للانحناء (رباعي النقط) لعينة زجاجية سمكها 3 mm وعرضها 20 mm والمسافة بين نقطة تأثير القوة والاسناد 10 cm ، علماً أن أقصى قوة تتحملها الشريحة 1 kN ؟

س14/ اذا تم حك شريحة من الزجاج السيراميكي بحجر الفلدسبار ولم يحصل للزجاج خدش واذا حكت بالكوارتز ظهر خدش على قطعة الزجاج ، ما مقدار مدى صلادة موهس ؟

س15/ اذا علمت ان الفرق في درجات الحرارة بين الاقراص النحاسية لجهاز قرص لي (3 C°) وتفصل الاقراص عينة زجاجية سمكها 1 mm وقطرها 40 mm ، ومقدار القدرة المجهزة 3.4 watt . أحسب معامل التوصيل الحراري للزجاج (على فرض أنه لا يوجد ضياع في الطاقة) ؟

س16/ أحسب مقاومة الصدمة الحرارية السريعة والبطيئة والحاصلة لنموذج من زجاج البايركس اذا كان التمدد الحراري ($10\times10^{-6}\ K^{-1}$) والنسبة بين متانة الكسر ومعامل يونك هي : $\frac{\delta_f}{E} = 10^{-3}$ علماً أن نسبة بوازون 0.2 ومعامل التوصيل الحراري 1.1 w/m.k .

س17/ ما تأثير زيادة نسبة السليكا على خصائص الزجاج من ناحية : 1- الشفافية 2- معامل الانكسار

س18/ كيف يمكن زيادة امتصاص الزجاج للإشعاع الشمسي الساقط؟

س19/ أحسب انعكاسية زجاج جير الصودا ، اذا كان البعد الحقيقي 6 cm والبعد الظاهري 4 cm (الابعاد مقاسة بطريقة المجهر المتحرك المزود بالورنية) ؟

س20/ فسر لماذا المقاومة النوعية الكهربائية للزجاج الذي يحتوي على البوتاسيوم اكبر من الزجاج الذي يحتوي على الصوديوم ؟

س22/ ما لمقصود بأشكال ليشتنبرك ، وكيف يمكن تكوينها في الزجاج ؟

أسئلة إثرائية (للطلاع فقط)

س1/ أحسب صلادة فيكرز لعينة من زجاج جير الصودا اذا كان الاثر موضح في الشكل (7-10) وكان مقدار الكتلة المؤثرة 100 g ثم أحسب متانة الكسر (fracture toughens) للعينة نفسها اذا كان معامل يونك 70 GPa ؟

س2/ باستعمال الشكل (7-8) جد معاملات يونك لزجاج جير الصودا والبوروسيلكات وزجاج السيلكا وزجاج سيلكا الالمنيوم (عالي الالومينا) عند درجة حرارة 200 C° ، 500 C° ، وناقش النتائج.

س3/ أحسب مقدار معامل التمدد الحراري لنموذج من زجاج جير الصودا اذا تم رسم نسبة التمدد مع تغيير درجة الحرارة كما في الشكل (7-13) ؟

س4/ اذا كانت المقاومة النوعية الكهربائية لزجاج البايركس و $8\times10^{12}\ \Omega\ .m$ ، أحسب :

1- ثابت العزل الكهربائي لزجاج البايركس على شكل قرص قطره 2 cm وسمكه 0.5 cm وسعة المتسعة بوجود المادة العازلة 3 PF . - 2- معامل الفقدان وظل زاوية الفقدان العزلي عند تردد 1 MHz ؟

س5/ أكمل الجدول التالي لاختبار متانة العزل الكهربائي لزجاج جير الصودا . ثم فسر اختلاف قيم متانة العزل الكهربائي باختلاف سمك العينة .

النموذج	السمك mm	فولطية الانهيار kV	متانة العزل الكهربائي kV/mm
1	1	15	
2	3	35	

الفهرست

الموضوع	الصفحة
الفصل الاول نبذة تاريخية عن صناعة الزجاج	5
1-1 تمهيد	6
2-1 الصناعات الزجاجية في العراق:	10
3-1 أختصاص الشركة الصناعات الزجاجية	11
أسئلة الفصل الاول	12
الفصل الثاني الزجاج (تعريفه - مكوناته - انواعه)	13
1-2 تمهيد	14
2-2 تعريف الزجاج :	15
3-2 تركيب الزجاج :	18
4-2 المواد الاساسية للزجاج (المواد الاولية والمواد الثانوية):	19
5-2 انواع الزجاج:	30
أسئلة الفصل الثاني	33
الفصل الثالث تهيئة مواد الزجاج الاولية	34
1-3 تمهيد	35
2-3 تهيئة المواد الاولية :	36
3-3 خلط المواد الاولية:	44
4-3 صهر المواد الاولية	47
5-3 عملية التجانس :-	53
6-3 ازالة الالوان:	55
أسئلة الفصل الثالث	56
الفصل الرابع افران صهر الزجاج	58
1-4 وصف الافران	59
2-4 انواع الأفران	60
3-4 تشغيل افران صهر الزجاج والسيطرة عليها	66
أسئلة الفصل الرابع	73
الفصـل الخامس عمليات وطرق التشكيل	74
1-5 التشكيل اليدوي (النفخ)	75
2-5 التشكيل الميكانيكي	80
3-5 طرق السحب العمودي Forcoult Method	93
4-5 زجاج الصب Cast Glass	95

5-5 المصابيح الكهربائية	96
6-5 منتجات زجاجية اخرى	99
7-5 عمليات ما بعد الانتاج	108
8-5 الزجاج المُعَشَّق:	117
اسئلة الفصل الخامس	122
الفصل السادس انواع الزجاج وتطبيقاته	123
1-6 أنواع الزجاج من ناحية الشكل	125
2-6 الزجاج السيراميكي	128
3-6 زجاج السحب (Rolled Glass)	131
4-6 الزجاج المجلتن	131
5-6 الزجاج المقاوم للرصاص	133
6-6 الزجاج المقاوم للحريق	134
7-6 الزجاج المنحني	135
8-6 زجاج بايركس Pyrex glass	135
9-6 زيادة العزل الحراري للزجاج باستعمال اغشية لدائنية مدعمة بتقنية النانو سيراميك.	136
10-6 استخدامات دهانات شفافة للزجاج لتخفيض تكلفة استهلاك الكهرباء	139
11-6 الزجاج المزدوج لأغراض العزل الحراري والصوتي	139
12-6 الزجاج الذكي Smart Glass	141
13-6 اعادة تدوير الزجاج	142
أسئلة الفصل السادس	145
الفصل السابع (خصائص الزجاج)	146
1-7 الخصائص الكيمياوية:	147
2-7 التبلور او زوال الشفافية:	149
3-7 الخصائص الفيزيائية:	149
4-7 الخصائص الميكانيكية:	154
5-7 الخصائص الحرارية:	162
6-7 الخصائص البصرية :	170
7-7 الخصائص الكهربائية :	175
أسئلة ومسائل الفصل السابع	181

تم بعونه تعالی