

الزجاج

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 .

1-لمحة تاريخية:

كان الخزف المزخرف، بمثابة أقدم نوع تم تصنيعه من الزجاج، وكان يشكّل بصره أسطح حبيبات الرمل مع الصودا أو البوتاس الكاوية، وكان هذا الخزف يستخدم لصناعة الخز، والنقوش والحليات الصغيرة في العصور القديمة، وفي الألف الثانية قبل الميلاد، ظهرت أول أوعية حقيقية من الزجاج، وقد تمكن الرومان من صب زجاج النوافذ، دون أن يكون بالصفاء الكافي، ولم يزد استخدامه عن السماح بدخول الضوء، دون التعرض للظروف الجوية. وكان الزجاج يُصبّ على هيئة لوح مسطح، وربما أجريت عليه عملية درفلة وهو ساخن، لكي يصبح أرق سمكاً. وعلى الرغم من وجود الزجاج في عدد قليل من الكنائس القديمة، التي يرجع تاريخها إلى القرن السابع، إلا أن الألواح المتسعة من الزجاج الشفاف، لم تصبح شائعة إلا في القرن السابع عشر.

2-مكونات الزجاج

يتكون الزجاج من مواد رئيسية منها :-

أولاً : المادة المزججة:

المادة المزججة هي ثاني أكسيد السلكون وهي ضرورية لتكوين الزجاج

ثانياً : المادة الخافضة لدرجة حرارة الانصهار:

مثل أكسيد الصوديوم أو البوتاسيوم أو الماغنيسيوم ويصح أن تكون هذه الأكاسيد هي الخافضة لدرجة الانصهار حتى لا يتلون الزجاج لأن اللون هو عيب من عيوب الزجاج إلا إذا قصد تلوينه

ثالثاً : المواد المحسنة:

مثل أكسيد البورون أو الكالسيوم أو الألومنيوم حيث تعطي هذه الأكاسيد خصائص إضافية للزجاج

وهناك عناصر ومركبات كيميائية ضرورية موازنة في عملية تصنيع الزجاج بأشكاله وأنواعه المعروفة بحسب الاستخدام، من أهمها :

1- الجير: يستخدم كمحلول مائي لتصنيع الزجاج. ويستخدم جير الكالسيوم والدولوميت بكميات كبيرة مع الرمل وكربونات الصوديوم



ثاني أكسيد السليكون



نترات صوديوم



أكسيد الألومنيوم



خام الدولوميت



عينة السيليكا او الرمل الزجاجي



جير الكالسيوم



اكسيد الرصاص



اكسيد البوريك

2- اكسيد الرصاص : يعتبر من المكونات الرئيسية لأنواع الزجاج الظراني الذي يتميز بمعامل انكسار عال للضوء، وعادة ما تشتمل على نسبة كبيرة من البوتاس (يعطي للزجاج بريقاً ولمعاناً وفي نفس الوقت مقاوم للكهرباء والحرارة).

3- اكسيد البوريك : يخفض من درجه لزوجه السيليكا دون أن يزيد من تمددها الحراري، ومع إضافه كمية قليلة من اكسيد الألومنيوم يحافظ على شفافية الزجاج، ويجعله أكثر مقاوما للحرارة (البايروكس)، وهي تستخدم في صناعة أدوات المخابز وأجهزة المختبرات والأنابيب الصناعية لقدرتها على مقاومة التغيرات المفاجئة في درجات الحرارة وتحملها للمواد الكيميائية.

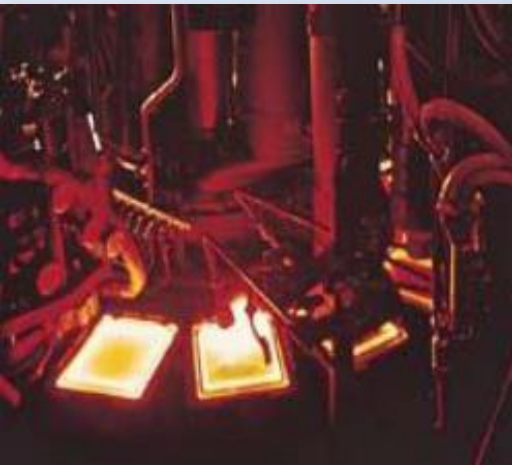
4- أكسيد الألومنيوم والجير : يستخدم هذا الخليط بنسبة كبيرة في الزجاج مع (10%) من أكسيد البوريك وقليل من القلويات لصناعة الزجاج اللين.

*** بشيء من التقريب يمكن القول أن الزجاج هو خلطة مناسبة من الرمل (السيليكا) مع بعض الإضافات الكيميائية وبظروف حرارية معينة نحصل على تلك المادة العجينية التي تبرد لتعطينا الزجاج، والزجاج من أكثر المواد فائدة في العالم. وهو يصنع بشكل رئيسي من رمل السيليكا والصودا والجير.

ويمكن الحصول على خواص مختلفة للزجاج بحسب طريقة تحضيره ومكوناته حيث يمكن للزجاج أن يشكل بحيث يستخرج على شكل خيوط رفيعة جدا تستخدم في تصنيع الالياف البصرية، أو يمكن أن يشكل من الحالة العجينية ويكسب مطواعة ليسكب في قوالب تعطيه الشكل النهائي كمرآة التلسكوب التي يصل وزنها عدة اطنان ، ويمكن ان تزداد صلابته أو قساوته ليصبح أقوى من الفولاذ وأكثر هشاشة من الورق مع إمكانية الحصول عليه بألوان والأشكال كثيرة.

3-طريقة تصنيع الزجاج:

الصهر . في العهود الماضية كانت الكميات تصهر في جرار صغيرة من الطين مقاوم للصهر ، وتسخن عادة بحطب الوقود . ولكن اليوم أصبح عملية الصهر في جرار خاصة تكفي لكمية تزن الى ما مقداره 1400 كجم من الزجاج . وتسخن هذه الجرار بالغاز أو الزيت . ويمكن للفرن الواحد ان يتسع لعدد يتراوح بين 20 و 6 جرار . وما زالت تلك الكميات القليلة من الزجاج تصهر في مثل تلك الجرارات المقاومة للصهر لانتاج مواد زجاجية بسيطة كزجاج البصريات وزجاج الفنون والزخرفة والزجاج الفاخر وزجاج الاجهزة البسيطة .



تكون منتجات الزجاج الات الضغط المسطح . تم صب الزجاج المائع في قوالب وتم ضغطه للشكل المطلوب بواسطة المكابس

تتم تغذية الزجاج المنصهر بالمواد الخام من ناحية التحميل بنفس السرعة التي يستخرج فيها الزجاج المنصهر من الجهة التي يجرى فيها العمل . ويستمر التحميل والصهر منذ أن تشعل النيران أول مرة حتى يتم اطفائها في نهاية الفترة التي تسمى الحملة . وفي العادة تستمر هذه الحملة دائما بتاكل جدران الطوب المقاوم للحرارة المصنوع منه الفرن . وهذه الجدران تتاكل وتتلاشى بفعل حرارة الزجاج .



صور توضح عملية الصهر

مراحل صناعة الزجاج :-

1- الصهر :

حيث تكون المواد الأولية قد حضرت على شكل بودرة او حبيبات وتمزج مع بعضها البعض بنسب وزنية معينة ثم تدخل الى الافران الخاصة .

2- التشكيل :

يبرد مصهور الزجاج ببطء الى مرحلة التشكيل بالدرجة المطلوبة لتشكيل باحدى الطريقتين :

- أ- التشكيل اليدوي
- ب- التشكيل الآلي

طرق التشكيل اليدوي :

صناعة وتشكيل الزجاج من الصناعات اليدوية التراثية التي تنتشر في مصر منذ عهد قديم , فكثيرا ما نرى في الاسواق الباعة يعرضون قطع زجاجية على هيئة مصابيح او كنوس او اباريق مصنوعة بشكل فني بديع .

وصناعة تلك القطع تمر بعدة مراحل نستعرضها فيما يلي :

- اسطوانات تلوين وزخرفة
- ماكينة صنفرة
- فرن كهربائي صغير
- فرن كهربائي كبير

- ماكينة تقطيع انابيب البيركس
- ضاغط هواء
- وحدة اكسجين
- كرتون للتعبئة

- انابيب بيركس
- ماكينة تقطيع زجاج
- موقد غاز
- ماكينة حفر

- اما الخطوات العملية للانتاج فتتم اولا عن طريق اختيار انابيب البيركس الزجاجية المناسبة لشكل المنتج المطلوب بحيث يتم اختيار شكل الانبوب المستخدم من حيث كونه سادة او معرج وكذلك قطر الانبوب وسمك الجدار ثم تأتي عملية التقطيع للانابيب الى اطوال مناسبة لنوعية المنتج المراد صنعة وذلك باستخدام ماكينة التقطيع

1- مرحلة التشكيل :

- يلي ذلك مرحلة التشكيل وفيها يتم تشكيل انابيب البيركس باستخدام المشاعل اعتمادا على المهارات الفردية للعامل عن طريق النفخ للحصول على الاتساع والامتداد المطلوب للقطعة الزجاجية وباستخدام بعض المعدات البسيطة لعمل الاشكال المطلوبة على الزجاج .

2- مرحلة الحفر :

- وفيها يتم اضافة بعض الزخارف والرسومات الفنية على الزجاج عن طريق استخدام ماكينة حفر على الزجاج , حيث يقوم العامل بنقش الرسوم والاشكال على السطح الخارجى لزجاج البيركس .

3- مرحلة الصنفرة :

- يتم استخدام ماكينة الصنفرة لتسوية الحواف وازالة الزوائد



ماكينة الحفر بالماء



ماكينة الشطف والصنفرة وازاله الشوائب

4- مرحلة التلوين والزخرفة :

ويتم فى هذه المرحلة استخدام الالوان اللامعة فى زخرفة وتلوين النقوش والرسومات التى تم حفرها على السطح الخارجى للمنتج , وهذه اللسائر عبارة عن ورنيش سيليكونى يضاف اليه اكاسيد اوميكا بنسب معينة لتعطى الالوان المطلوبة وتتنوع الالوان وتباين حسب الطلب ويتحكم فى ذلك الاكاسيد المستخدمة مع اضافة بعض المواد المثبتة مثل اكسيد الحديد للحصول على اللون الاحمر الداكن واكسيد الكوبالت للحصول على اللون الازرق واكسيد النحاس للحصول على اللون الاخضر الداكن .



صور توضح اشكال الزجاج الملون والمزخرف

5- مرحلة الحرق :

يتم ادخال المنتجات التي يتم تلوينها الى الفرن الكهربائي عند درجة حرارة 700:900 م لتثبيت الالوان .

6- مرحلة الفرز والتعبئة والتغليف :

يتم الفرز لاستبعاد لانتاج المعيب ثم يتم تعبئة ما يتم اختياره في صناديق من الكرتون معزولة بالفوم من الجوانب لتلافى الكسر اثناء عمليات النقل .

مراحل التشكيل الآلى :

1- النفخ :

نفخ الزجاج دون استعمال قوالب فن قديم يرجع تاريخه الى حوالى 2000 سنة , وتتم هذه العملية بغمس انبوبة نفخ من الحديد طولها بين 1,2 و 1,5 من الامتار فى الزجاج المنصهر الذى يلتصق بعض منه بطرف الانبوبة الذى يكون شكله اسبه بالكمثرى . ويبدأ احد العمال فى النفخ بلطف فى الانبوبة حتى ينتفخ الزجاج ويتجاوب مع نفخ العامل الذى يقوم باعطاء الشكل المطلوب عن طريق النفخ . ويمكن للزجاج وهو فى هذه المرحلة ان يعصر ويمط ويفتل ويقطع , ويقوم العامل بتسخين هذا الزجاج مرة بعد اخرى للحفاظ عليه طريا مرنا .

2- الكبس :

يصحب الكبس اسقاط كتلة زجاجية ساخنة فى قالب , تم تكبس بمكبس حتى تنتشر كتلة الزجاج وتملا جوف القالب , ولكى تكبس هذه الكتلة يجب ان يتم تشكيل المادة بطريقة تمكن من سحب المكبس , وتستخدم عملية الكبس عادة فى صنع اطباق الخبز والكتل الزجاجية والعدسات وطفائيات السجائر , وكما هى الحال فى عملية النفخ فانه بالامكان ايضا اجراء عملية الكبس اما باليد واما بالآلات سواء بقالب مفرد او مزدوج وتستخدم الات النفخ والكبس مجموعة من طرق الكبس والنفخ لصنع المادة المطلوبة . وهناك كثير من الاوعية الزجاجية التى تصنع بهذه الآلات .

3- السحب :

هو الطريقة التى تستخدم لتشكيل الزجاج المسطح وانايب الزجاج والالياف الزجاجية . وتكاد تكون جميع انواع الزجاج المسطح المصنوع هذه الايام زجاج طفو . ويشكل هذا النوع عن طريق سحب صحيفة عريضة من الزجاج المنصهر فى صهريج من القصدير المنصهر . ويسمى هذا الصهريج الحمام الطافى لأن الزجاج يطفو فى طبقة مستوية على سطح القصدير المنصهر البالغ النعومة . ويضبط التسخين فى حمام الطفو



صورة توضح عملية الحرق



صورة توضح عملية النفخ

ولكى تكبس هذه الكتلة يجب ان يتم تشكيل المادة بطريقة تمكن من سحب المكبس , وتستخدم عملية الكبس عادة فى صنع اطباق الخبز والكتل الزجاجية والعدسات وطفائيات السجائر , وكما هى الحال فى عملية النفخ فانه بالامكان ايضا اجراء عملية الكبس اما باليد واما بالآلات سواء بقالب مفرد او مزدوج وتستخدم الات النفخ والكبس مجموعة من طرق الكبس والنفخ لصنع المادة المطلوبة . وهناك كثير من الاوعية الزجاجية التى تصنع بهذه الآلات .



الطريقة المستعملة لسحب الزجاج

بحيث تصهر اية خشونة بالامكان نقلة من القصدير المنصهر لمزيد من التبريد . وعندما يشكل الزجاج المسطح فى حمام طفو . فان كلا الجانبين يخرج بشكل لامع بحيث لا يحتاج الى شىء من الصقل والتهذيب .

وتصنع الانابيب الزجاجية بسحب الزجاج المنصهر لينساب حول اسطوانة دوارة او مخروط يسمى قلب التشكيل وبنفخ الهواء من خلال قلب التشكيل فان الزجاج يكون انبوبة مستمرة على الدوام . اما الالياف الزجاجية فانها تصنع عن طريق سحب الزجاج المنصهر من خلال ثقب دقيقة جدا في قاع الفرن .



صورة توضح عملية الصب

3- الصب :

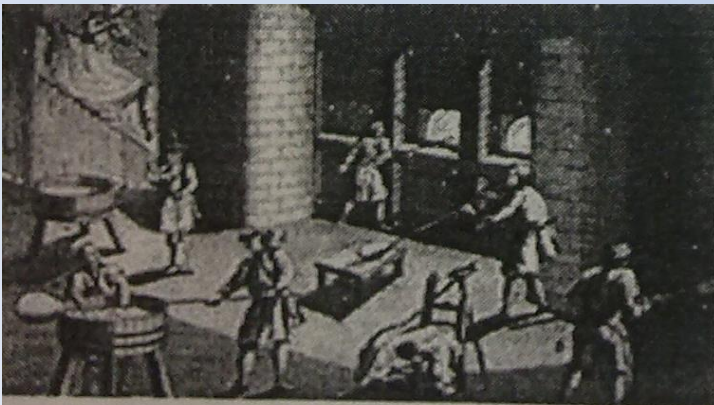
صنعت المرآة بعرض 508 سم لتلسكوب مرصد بالومار في كاليفورنيا بالولايات المتحدة الامريكية عن طريق الصب وتتضمن عملية الصب هذه ملء قوالب بزجاج منصهر وذلك اما بصب الزجاج من مغارف واما مباشرة من الفرن ويستخدم الصب في انتاج قطع الزجاج المستعمل في الشؤون المعمارية وفي انتاج زجاج الفنون وزجاج الليزر .

تطور تصنيع الزجاج :

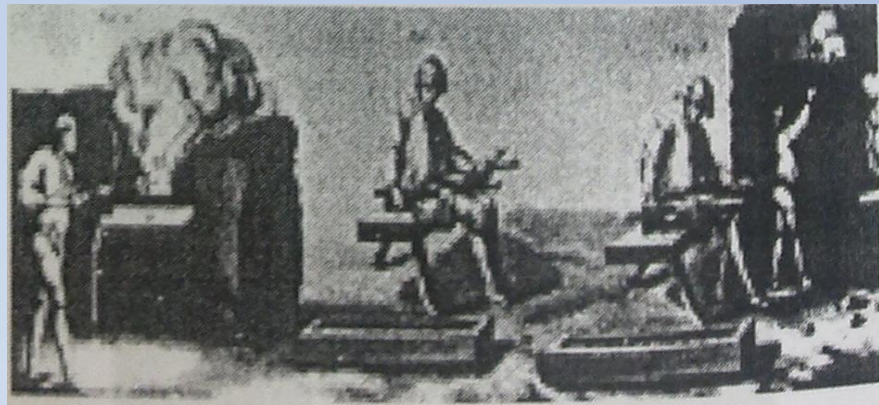
مرت مراحل تصنيع الزجاج بالعديد من التطورات التقنية على مر الازمنة سواء في المواد الخام المستخدمة أو في تقنية التصنيع , ونوجز فيما يلي التطورات التقنية التي مرت بها مراحل تصنيع الزجاج حتى وقتنا الحاضر , وقد قسمت مراحل التطور الى ثلاثة فترات زمنية

المرحلة الاولى : بدأت من العصر الحجري حتى النصف الاول من القرن 19

عرف الزجاج منذ القدم كمادة طبيعية (ناتجة من مصهور البراكين) Obsidian , واستخدم منذ العصر الحجري Stone age وعثر على أول زجاج على شكل قضبان من الزجاج الأخضر منذ حوالي 2600 قبل الميلاد في نابليون , كما عثر على حبيبات من الزجاج في مصر عام 2500 قبل الميلاد , واستخدم الزجاج في تلك الفترة للحلى والزخارف أو كدهان للأواني الفخارية , واعتبر ذو قيمة ثمينة , كما استخدم من قبل الاسر المالكة للأغراض الدينية .
- وفي القرن الأول الميلادي في عهد الدولة الفينيقية اخترعت طريقة النفخ Blowing , وأمكن وقتها انتاج الزجاج الشفاف , باستخدام أدوات بدائية بسيطة (انبوبة حديدية بطول 1م : 1.5 م وبقطر 10 مم) , حيث تمكن من نفخ الزجاج المنصهر في داخل أنية مفرغة Hollow vessel , وظلت هذه النافخة الحديدية حتى اليوم الاداة الرئيسية في ايدي العمال المهرة .



طريقة تصنيع الزجاج في فترة العصور الوسطى

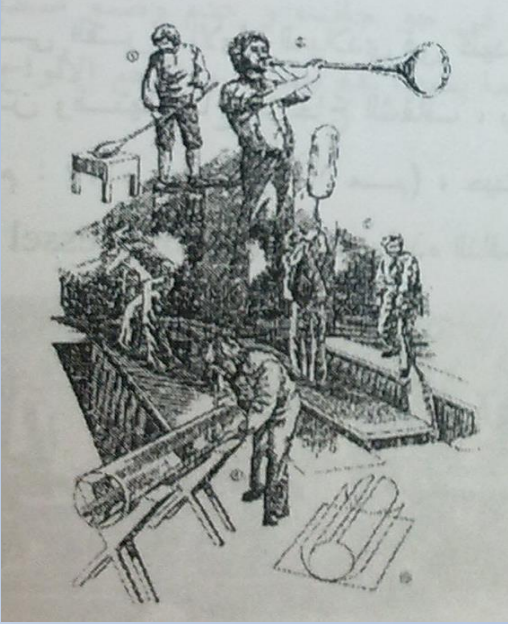


الطرق البدائية في تصنيع الزجاج

- وفي عصر الامبراطورية الرومانية وصلت صناعة الزجاج الى درجة عالية من الجودة والاستخدام , وفي القرن الرابع عشر اصبحت فينسيا مركز صناعة الزجاج , حيث طورت فيها العديد من التقنيات الحديثة واصبحت مركز لتصدير التقنيات الحديثة والوانى المتطورة والمرايا وعناصر اخرى تستخدم للترف , وفي النهاية انتقل بعض صانعي الزجاج الى دول اوروبا وانتشرت صناعة الزجاج على نطاق واسع .

- كما استخدم الزجاج الملون فى صناعة النوافذ فى العمارة القوطية واستخدمت الألواح ذات الأبعاد الصغيرة والتي تم لحامها بالرصاص وكانت تتم صناعة بواسطة نفخ شكل اسطوانى ثم يقطع وهو ساخن , ويسوى على سطح أملس وكانت ابعاد وجودة الزجاج الناتج محدودة .

- ثم تطورت صناعة الزجاج عام 1674 فى انجلترا , حيث أنتج الزجاج النقى ذو المحتوى العالى من الرصاص , وكانت تلك بداية تصنيع الكريستال , باستخدام البوتاس والرمل النقى وأكسيد الرصاص مما أعطاه الشفافية واللمعان والليونة وجعله قابل للقطع والحفر واتسعت مجالات استخدامه .



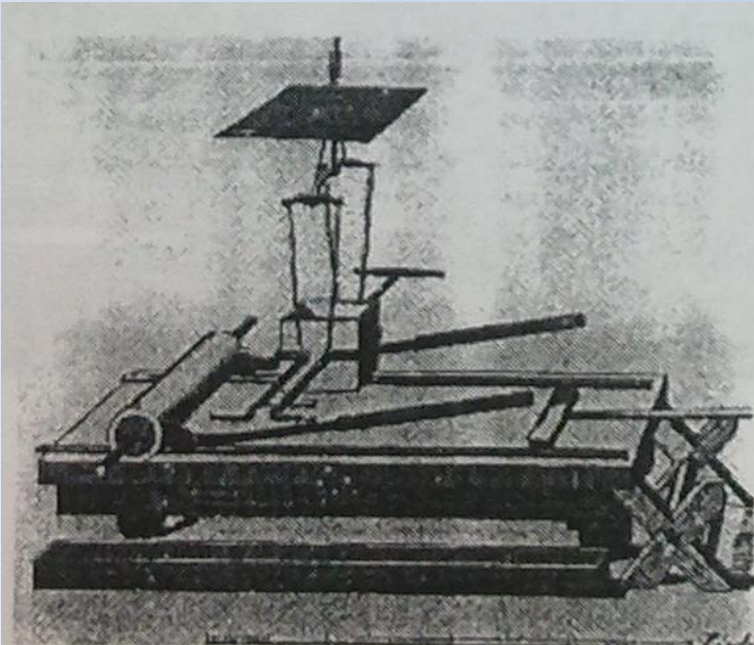
طريقة عمل الزجاج الاسطوانى



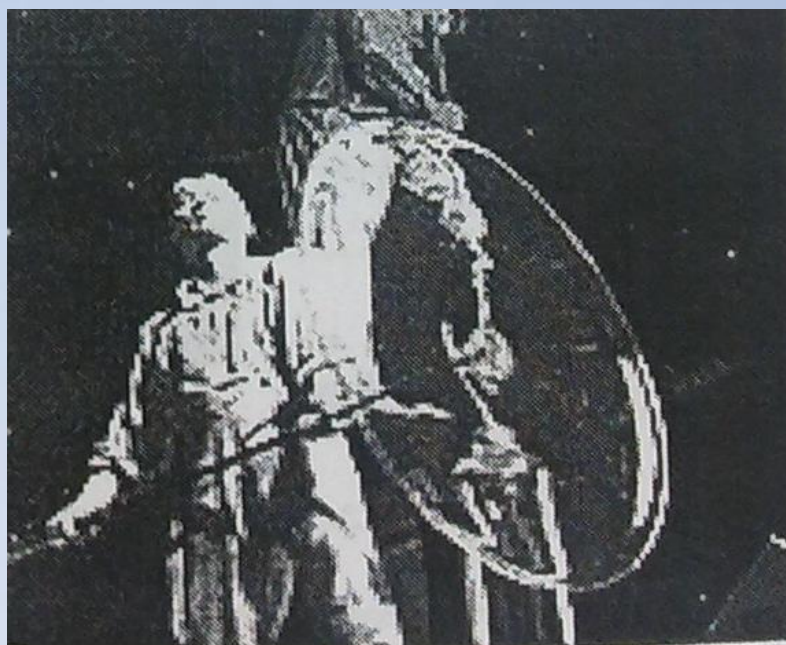
طريقة عمل الزجاج التاجى

- ثم قام السوريون باكتشاف طريقة تصنيع الزجاج التاجى Crown glass , بواسطة دوران 19 رطل (14 كجم) من الزجاج المنصهر Molten glass على نهاية أنبوب النفخ , ثم يتم تسويته فى قرص بقطر 5 قدم (1.5 م) ومن ثم يقطع ويشكل الى الواح واستخدمت هذه الطريقة فى تصنيع الزجاج المستخدم لتشييد القصر الكريستالى عام 1851.

وفى عام 1688 بفرنسا قام Nicholas de nehou بتصميم طريقة جديدة لتصنيع الزجاج بسكب او صب الزجاج على سطح منبسط ثم يلف بعد ذلك , نتيجة لتلامس الزجاج لأسطح المنضدة والة اللف يصبح الزجاج معتما , ولجعلته صافى شفاف يتم جلى وسخد السطح الخارجى وأستمر استخدام هذه الطريقة مدة 150 عام وذلك لانتاج زجاج مخصوص وخالى من الانحناءات .



ماكينة صب الزجاج 1688 م



طريقة الزجاج التاجى

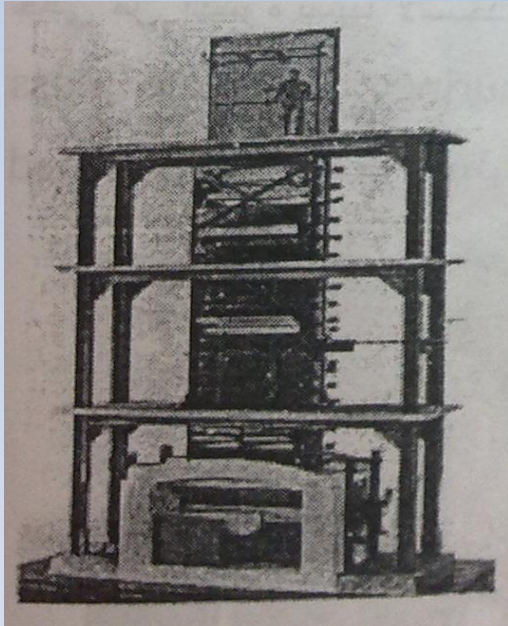
- ثم صنعت ألواح زجاجية رخيصة الثمن بواسطة سحب شريط الزجاج رأسيا حتى ارتفاع 13م خارج حوض صهر الزجاج ولكن الألواح الزجاجية الناتجة بهذه الطريقة تعاني من التشوه بسبب الاختلافات في كثافة الزجاج المنصهر , ومن أجل الحصول على زجاج خالي من التشوه نسبيا لاستخدامه في زجاج النوافذ والمرايا , طورت طريقة إنتاج الزجاج المسطح بصب الزجاج المنصهر على منضدة ولفة حتى يتم فردة ثم يتم صقلة وتغطية إلى ألواح أو شرائح .

المرحلة الثانية : بدأت من النصف الأول من القرن 19 حتى النصف الثاني من القرن 20

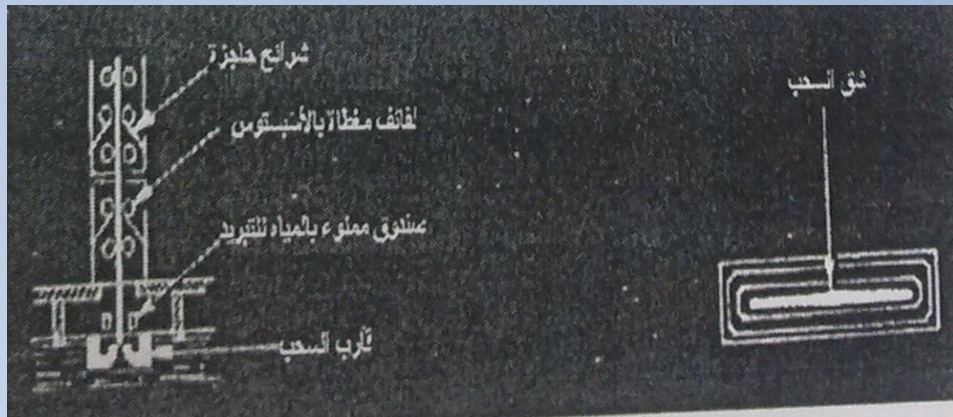
- بدأت تلك الفترة في بلغاريا بطريقة Four cauld 1904 حيث تم ادخال زوزق صغير في داخل حوض من الزجاج الساخن وبه شق في المنتصف , ويبرد بالماء , ويتم دفع خليط الزجاج المنصهر خلال الشق ويصبح شبه بارد Semi cool , بحيث يكون جاسئ بشكل كافي ويمكن التقاطه ودفعه لأعلى , ويتم تقطيعه عندما يبرد , وانتجت هذه الطريقة أول ألواح زجاجية كبيرة الحجم , ولكنها محددة الأبعاد تبعا لعرض الشق وكذلك الارتفاع الذي يمكن سحبه .

- ولكن يعيب طريقة four cauld :

- حدوث تراكما تدريجيا لحبيبات الكريستال على جانبي الشق مما يفسد سطح الزجاج , ويفقد الزجاج بريقه وشفافيته وتسوء جودته في آخر مرحلة للسحب , وتظهر خطوط على سطح الزجاج نتيجة مادة الاسبستوس المصنع منها الشق , وعدم التحكم في درجات التبريد خلال ارتفاع البرج الذي يصل طوله إلى 7 م .

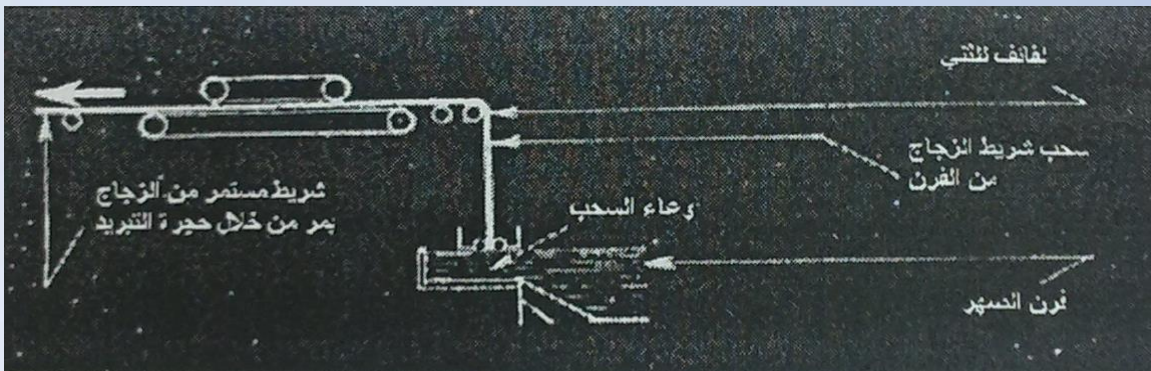


ماكينة four cauld



طريقة four cauld لسحب الزجاج

- وفي عام 1905 ظهرت في امريكا طريقة colburn على يد libbey owen , وتشابه مع الطريقة السابقة الا انه عند الارتفاع المحدد للوح الزجاجي يتم ثنيه أفقيا ويمكن لفه بعد ذلك في لوح بطول 200 قدم , ثم يقطع بالطول المطلوب .



طريقة colburn لتصنيع الزجاج

- ويعيب طريقة colburn :

- 1- أحرف اللوح التى قبضت عليها البكرات الدوارة أكثر سمكا من باقى اللوح ولذا يجب قطع شريحة بطول اللوح الزجاجى وبعرض 5:7 سم
- 2- يفسد سطح الزجاج لفة على البكرات ولذا يجب العناية بسطح بكرات اللف roller ودرجة حرارتها ونظافتها .

وتجنبنا لعيوب الطريقتين قامت شركة pitsburg plate PPG بدمج طريقتى Four cauld و colburn معا , وذلك بسحب اللوح مباشرة من الزجاج المصهور مثل طريقة colburn ولكن لا يحنى أفقيا بل يسحب رأسيا مثل طريقة four cauld , حيث يمر أولا داخل ثكنات صغيرة تسمى أفران السحب drawing kiln وعددها 5:4 تنكات وفيها يحمى لوح الزجاج , ثم يتم سحبه لأعلى ببطئ بواسطة بكرات كهربائية مزدوجة ثم يفصل اللوح عنها ويتم معالجته ويمنع من الالتواء بوسيلتين :

- **الأولى :** بواسطة شريحة معدنية تسمى القالب بها شق رفيع بسمك الزجاج المرغوب حيث يوضع فوق الزجاج المصهور ويمر عليه ويتم تشكيل الزجاج من خلاله .

- **والثانية :** بواسطة زوج من البكرات الماسكة تضخ هواء بارد على أطراف اللوح لتبريده سريعا ويكون ذلك بشكل أوتوماتيكى , ويتم التحكم فى درجات الحرارة ثم يقطع للأطوال المطلوبة وتعالج الأطراف , والزجاج الناتج ليصبح أكثر لمعانا وبريقا .

- ويعيب طريقة الدمج :

- بان الزجاج لا يخلو من التشوه distortion بسبب اختلاف درجة التبريد المؤثرة عليه بعد السحب فأدى ذلك لاختلاف السمك وبالتالي لا يكون سطح الزجاج الناتج تام التوازى وبالتالي كانت له استخدامات محدودة لتناسب طبيعته .

- وفى عام 1925 استخدمت تقنيه السحب فى تصنيع النوافذ , والذي يمكن اعتباره بداية ألواح زجاج حديثة بواسطة تطور طرق ميكانيكية لنفخ الشكل الاسطوانى على يد J.H.Lubber , حيث استطاع أن يصنع اسطوانة زجاجية بطول 40 قدم بقطر 30 بوصة تقريبا , ويتم تقطيعها وفردها , ولكن يعانى اللوح الزجاجى المسحوب من تشوهات التصنيع .

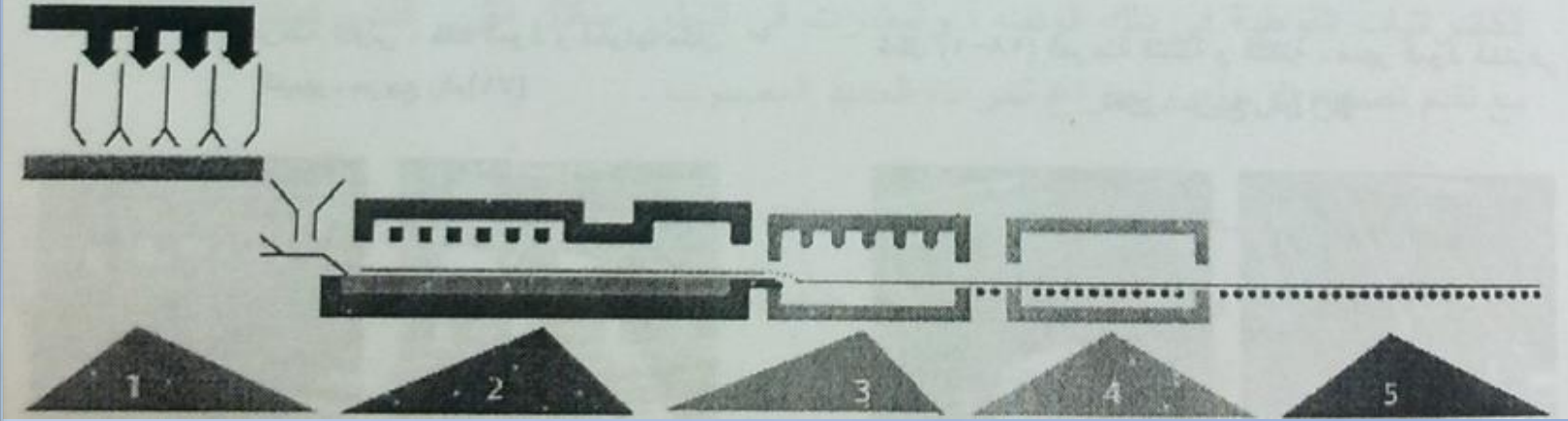
- ويتم التغلب على هذه المشكلة بانتاج ألواح الزجاج والذي يضمن الصب واللف الأفقى ويتبعه شحذ لازالة التشوهات , وصنفرته لاعطائه الصفاء ولذلك يكون مكلف .

المرحلة الثالثة : بدأت من النصف الثانى من القرن العشرين وحتى وقتنا الحالى :-

فى انجلترا عام 1955 م ابتكرت تقنية الزجاج الطافى float glass على يد alistair pilkington , بذات طريقة السحب drawing method والجلى والشحذ للزجاج المصبوب , وعملت على انتاج الزجاج المسطح بجودة أفضل عن الزجاج المسحوب التقليدى ومساوئ الجلّى والشحذ المصاحبة لتصنيعه .

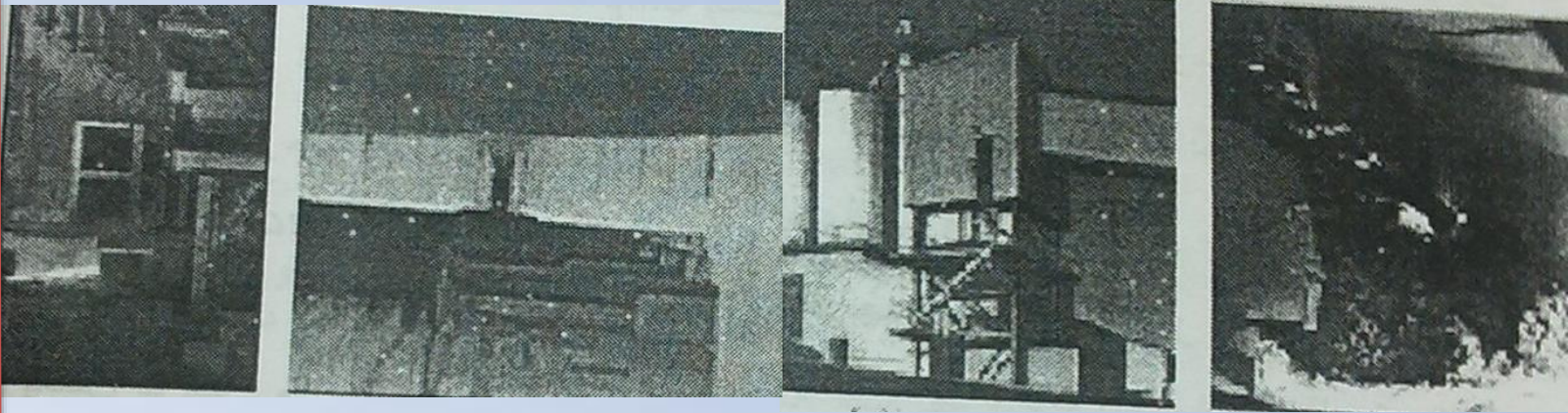
وفى هذه الطريقة ينتج الفرن furnace زجاج منصهر باستمرار عند درجة حرارة 1100 م تقريبا (للمواد الاساسية وبإضافة 25 % من الزجاج المكسور الى فرن الخلط يعجل من فترة الصهر وبواسطتها يتم إعادة استخدام المنتج الفائض) , وينساب الزجاج المنصهر فوق سطح من القصدير المنصهر molten tin (وتم اختيار القصدير لأنه يظل منصهر حتى درجة 600 م) , ويحتوى بداخله على هيدروجين ونيروجين لمنع أكسدة سطح المعدن المنصهر , وبفعل الجاذبية والازاحة يتشكل شريط مستمر من الزجاج يتم سحبه من خلال لفائف أو بكر مثبتة من الجانبين وعرض الشريط الناتج 3,21 وسمكه يعتمد على سرعة مرور الزجاج فوق حوض القصدير والمسافة بين البكر , ثم يمر عبر فرن التبريد وفى هذه المرحلة يتم ازالة اى اجهادات متبقية على سطح الزجاج , زبذلك نحصل على زجاج ذو سطح مستوى ومتوازى الوجهين ومعالج بالنار , ثم يغسل الزجاج ويتم التخلص من المواد الغريبة , ويقطع الشريط الناتج بالأبعاد المطلوبة , ويتم صنفرة الحواف , وتنتج الآلات المخصصة 1000 طن من الزجاج اسبوعيا ,

أو 3000 م 2 / ساعة . وينتج الزجاج بمتوسط سمك 2 مم : 25 مم يستخدم في صناعة التشييد , وبسمك 0.5 مم ويستخدم في الصناعات الالكترونية , كما ينتج بأسمك قياسية من 3 مم : 12 مم , ويتمثل التطور التكنولوجي الحالي في طريقة الصهر الاتوماتيكية بالكامل مما يعطي أفضل جودة تحكم وأقل تلوث للبيئة عن تلك التي تنتج عن الأفران التقليدية والتي تعمل بوقود الزيت او الغاز .



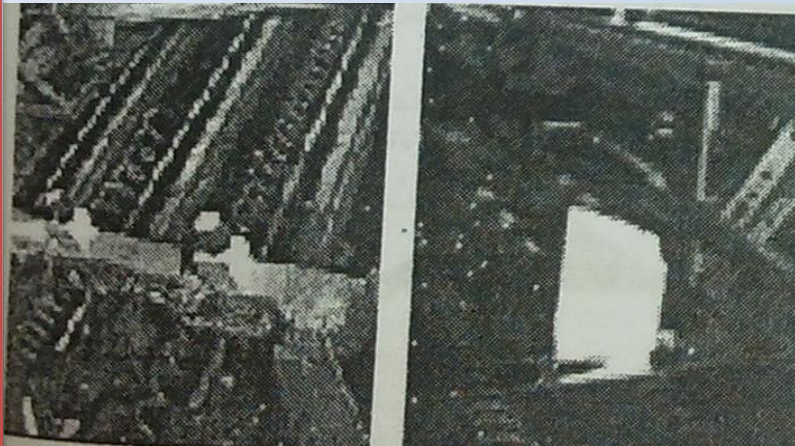
صورة توضح الخطوات الاساسية في تصنيع الزجاج

- 1- مكان الخلط (لخلط المواد الخام)
- 2- الفرن (لصهر المواد الخام – تصفية الزجاج المنصهر – التحكم في درجة الحرارة)
- 3- حوض القصدير المنصهر (يطفو عليه الزجاج المنصهر 1000 م)
- 4- مكان التبريد (لتبريد شريط الزجاج الناتج)
- 5- القطع (يتم تقطيع شريط الزجاج اتوماتيكيا)

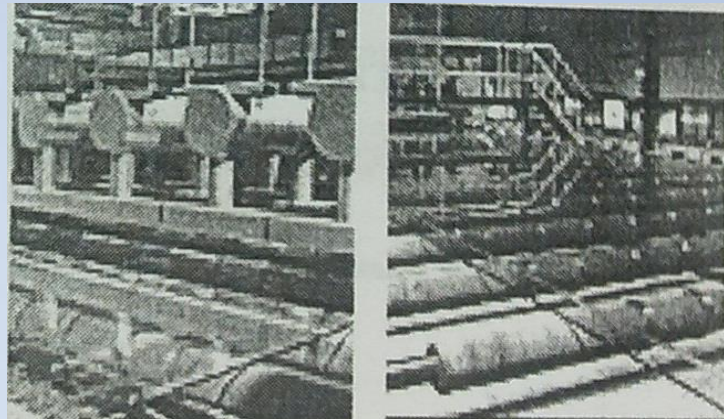


المرحلة الثانية والثالثة : صهر المواد الخام في الفرن

المرحلة الاولى : خلط المواد ودخولها مكان الصهر



المرحلة الخامسة : التقطيع ومراجعة الجودة



المرحلة الرابعة : تبريد الشريط الناتج

مميزات وخواص الزجاج

الزجاج عنصر أساسي في العمارة، وهو مجال واسع وسريع التطور، وشديد التأثير على القرارات البيئية والتصميمية للمعماري، فهناك أنواع من الزجاج تقلل مرور الإشعاع الشمسي بشكل عام، وأخرى متقدمة يمكنها من تغيير النفاذية تبعاً للاحتياج، لذا يجب فهم المبادئ العلمية لانتقال الإشعاع عبر الزجاج لمعرفة كيفية نفاذه عبر الزجاج وكذلك يجب فهم كافي لخواصهما، فسيتم تقديم خلفية علمية لفيزياء الإشعاع الشمسي وكيفية نفاذه من الزجاج، وفهم كيفية عمل الزجاج خاصة ذو الصفات الانتقالية

مميزات الزجاج :

1- الشفافية :

يمتاز الزجاج بشفافية صافية متجانسة، تمر من خلاله جميع الأشعة الضوئية من فوق البنفسجية إلى تحت الحمراء، كما أن للزجاج القدرة على عكس وكسر الضوء ويتراوح معامل انكسار الزجاج بين (1.467-2.179)

2- القساوة :

الزجاج جسم هش سريع التحطم لا يتغير شكله عند الضغط أو الصدمة وتعرف قساوة الزجاج بأنها قدرته على مقاومة الخدش أو الاحتكاك .

وتختلف قساوة الزجاج باختلاف تركيبه حيث تعمل زيادة نسبة الجير والسيليكا على زيادة قساوته.

3- مقاومته للمواد الكيميائية :

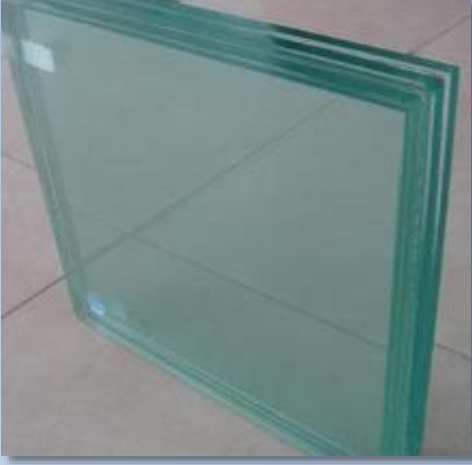
يقاوم الزجاج بشكل عام المحاليل الكيميائية عدا حمض الفلوريدريك والمصهرات القلوية التي تحل الزجاج بسهولة . ويؤثر الماء على الزجاج بعد تماسه لفترة طويلة جدا .

خواص الزجاج :

□ 1- الخواص الميكانيكية

قوة المادة هي قدرتها على حمل الضغط والشد والالتواء والانحناء والقص والقوى الأخرى قبل الانهيار أو فقد صفات الليونة . تتأثر شدة الزجاج كثيراً بسبب طبيعة سطحه حيث تنتشر فيه خدوش أو صدوع ميكروسكوبية وهي تحدث نتيجة كشط بواسطة مادة صلبة أو حتى لمس الأصابع وإيضاً نتيجة احتكاك الزجاج ببعضه أثناء عمليات التصنيع وهناك تفسير لهذه الصدوع :

التفسير الأول : وجود مناطق ضعف على سطح الزجاج موزعة توزيعاً عشوائياً وهو تفسير العالم جريفز



الشفافية



الزجاج قابل لكسر ومقاوم للخدش



وجود مناطق ضعف التفسير الأول

التفسير الثاني : نتيجة التركيب الجزيئي او وجود فقاعات غازية غاية في الصغر وهو تفسير العالم جونز و هذه الصدوع تؤدي الى جعل القوة للزجاج اقل من واحد من مائة من قوة 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 فجأة تماما

ويمكن زيادة المقاومة الداخلي للزجاج عن طريق :

- 1- محاولة تتجنب نشوء هذه الشروخ قبل ان تبدأ وان كانت احيانا لا تجدي هي حماية سطح الزجاج بواسطة غشاء واقى من مادة اخرى حتى يتم حماية الزجاج من التفاعلات الكيميائية والصدمات
- 2- محاولة تجنب وضع الزجاج في وضع الشد حتى اذا كان هناك شروخ على سطح الزجاج لايمتد الى الداخل فيحدث الكسر

ولاعطاء الزجاج القوة الكافية لمقاومة الشد يتم تقويته بوسيلتين :

التقسية الحرارية : وذلك بتسخين الزجاج لدرجة حرارة اعلى من درجة الليونة ثم يبرد السطح سريعا ولذلك يحدث له توقف عن الانكماش بينما الجزء الداخلي من الزجاج يستمر في التبريد والانكماش فيحدث ان يكون السطح الخارجي دائما في حالة ضغط بينما السطح الاخلي في حالة شد

التقسية الكيميائية : وذلك بتسخين الزجاج الصودا في سائل يحتوي ملح البوتاسيوم وبذلك يحدث انتقال ايونات الصوديوم في المحلول الملحي ويحل محلها ايونات البوتاسيوم الاكبر بنسبة 30% في القطر وعندما يبرد الزجاج لايسطيع سطح الزجاج ان ينكمش بنفس المقدار كداخل الزجاج ويصبح السطح في حالة ضغط والداخل في حالة شد وبذلك يمنع انتشار الشروخ على السطح مما يزيد قدرته على تحمل الشد لاعلى مستوى .

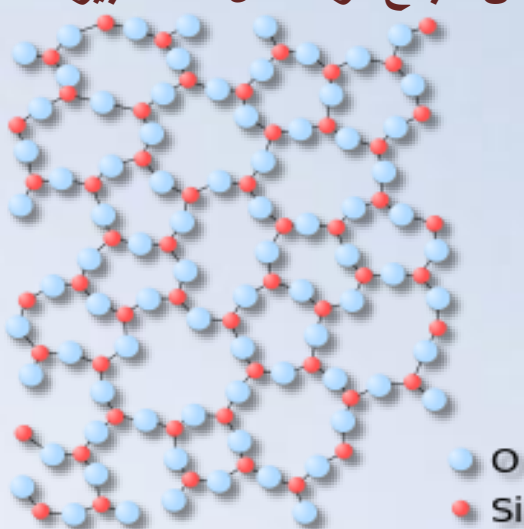
- 3- محاولة منع انتشار الشروخ اكثر وذلك بطمر الياف الزجاج في قالب من صمغية لاعادة توزيع الاجهاد فاذا وجد شرخ في احد الالياف لا يمتد الى باقي المادة حيث يتم توزيع الحمل بواسطة القالب الى باقي الالياف وذلك بجانب ان الالياف تحوي الشرخ تظل متماسكة

ولزيادة قوة الزجاج يمكن استخدام عدة طرق منها :

- 1- غمر الزجاج في مياه دافئة عدة ساعات فتحل الطبقة العليا من سطح الزجاج وتلتئم الشروخ
- 2- او بواسطة حمض الهيدروفلوريك بعمل حفر عميق ويؤدي ذلك الى التئام الشروخ مما يزيد من قوة الزجاج من 10 الى 20 مرة
- 3- او بتندية سطح الزجاج بالسوائل العضوية الخاصة
- 4- او وضع لوح الزجاج الرقيق ذو معامل التمدد القليل بين طبقتين من الجاج ذو معامل تمدد كبير

□ 2- الخصائص الكيميائية للزجاج

من اكثر المواد مقاومة للتفاعلات الكيميائية ومقاوم جيد للتآكل وذلك في جميع الدرجات الحرارة فمثلا الزجاج المكون من السيليكا فقط ولايحتوي على الصودا يقاوم الماء ومعظم الاحماض ماعدا حمض الهيدروفلوريك وكذلك حمض الفوسفوريك في درجات الحرارة المرتفعة وتتوقف المقاومة الجوية للزجاج على تركيبه الداخلي فقد وجد ان الرطوبة بما تحوه من ماء او احماض يمكن تسبب تآكل الزجاج بمعدل 8 ميكرون في السنة .



التركيب الكيميائي للزجاج

- وبدراسة تأثير الماء على الزجاج في عدة بحوث وجد ان التفاعل يتم على عدة مراحل هي :
- 1- يمتص الماء الذي تكاثف على الزجاج 2- يتخلل الماء خلال الزجاج نتيجة وجود الشروخ والصدوع
 - 3- تتحلل بعض السيليكات القابلة للذوبان في الماء وتخرج على سطح الزجاج في صورة قلوي هيدروكسيد الصوديوم وحمض السيليك ويتبخران
 - 4- مزيد من الماء يمتص ويستمر التفاعل ويزداد
 - 5- تتكون طبقة رقيقة على السطح من الاملاح القابلة للذوبان وهي عادة قلوي الكربونات والهيدروكسيد وتتحلل في الماء الداخل تاركة طبقة هيكليّة من السيليكون
 - 6- مع تركيز المحلول القلوي بواسطة التبخر يحدث تاكل وتحلل لطبقة السوليكون وان كانت هذه المراحل لا تحدث الا في حالات التجوية الصعبة التي نادرا ما تحدث في المباني
- * الزجاج المصقول اقل مقاومة للماء والقلويات من الزجاج المنهي بنهر النار

□ 3- الخواص البصرية

بما ان الزجاج مادة شفافة فانه يسمح بمرور الضوء وسبب هذه الشفافية هو ان جزيئات الزجاج الغير منتظمة المنفصلة في تركيبها اصغر كثيرا من الطول الموجي للضوء المرئي اي ليس هناك بناء كبير بدرجة كافية لاعاقة مرور موجات الضوء في الطيف الضوئي . وبزيادة نسبة السيليكات في التركيبة الزجاجية يصبح الزجاج اكثر شفافية اي اكثر سماحا بمرور الاشعة القصيرة الموجة الفوق بنفسجية وفي نفس الوقت يصبح معتم للاشعة الطويلة الموجة تحت الحمراء لانه يمتصها ولا ينفذها .

والزجاج الذي يحتوي على المعدن الثقيل الفلورايد يسمح بمرور الضوء ذو الموجات الطويلة والزجاج الذي يحتوي على النحاس يسمح بمرور موجات حتى 18 ميكرومتر اي حتى وسط المنطقة تحت حمراء

الاشعاع الشمسي والزجاج



عند سقوط الشعاع الشمسي على سطح لوح الزجاج ينعكس جزء منه بينما ينفذ الباقي إلى داخل الزجاج، فينعكس جزء منه من السطح الداخلي للزجاج، وتتوقف النسبة المنعكسة على معامل انكسار الزجاج وزاوية السقوط، حيث تزيد النسبة المنعكسة بزيادة كل منهما.

وبالنسبة للزجاج العادي (معامل انكساره ١,٥) ينعكس ٤% من الإشعاع 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 الخارجي بطبقة رقيقة من المعدن العالّس (سمكها ٢٠-٣٠ ميكرون) لتصل إلى ٢٠ %، أما يمكن اختيار مواد الطلاء لتكون أكثر انعكاسا للأشعة تحت الحمراء من انعكاسيتها للضوء المرئي، أما يمكن انقاص الانعكاسية بطلاءات خاصة تقلل من لمعان السطح، وان كانت عملية تقليل الانعكاس غير مفيدة حراريا ولكنها تستخدم لتحسين الرؤية عبر الزجاج في بعض التطبيقات المعمارية بينما تستخدم بكثافة في الشاشات والنظارات وعدسات التصوير.

الساعة	مقدار الشدة النافذة Lux	معامل الامتصاص $\alpha \text{ m}^{-1}$
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

جدول يبين مقدار الشدة النافذة خلال لوح الزجاج الشفاف ومعامل الامتصاص

الامتصاص:

عند سقوط الضوء بالإشعاع الذي ينفذ من السطح يمتص و يتشتت جزء منه داخل الزجاج تتحدد قيمته بسمك الزجاج ونقاؤه ونوع مادته، وبالنسبة للزجاج العادي سمك ٣ مم يمتص ٩ - ٦ % من الأشعة الساقطة في 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 في صورة أشعة حرارية (تحت حمراء بعيدة). وعادة ما يكون الزجاج الملون أو الداكن ماصا للإشعاع الشمسي بنسبة تزيد عن الزجاج العادي ويمكن التحكم في نسبة الامتصاص بزيادة نسبة الشوائب في الزجاج واختيار مادة الشوائب لتحديد الألوان والأطوال الموجية التي يتم امتصاصها، بحيث يكون امتصاصه انتقائيا. ويفضل بالطبع زيادة امتصاص الزجاج للأشعة تحت الحمراء وفوق البنفسجية، وتقليل امتصاص الضوء المرئي.

الانعكاس الداخلي والانكسار

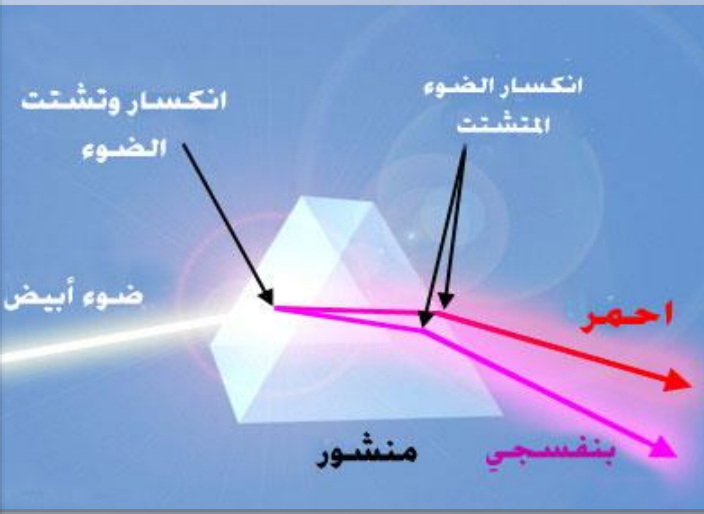
يصل الشعاع الذي لم يمتص إلى السطح الداخلي للزجاج فينفذ جزء منه إلى الفراغ الداخلي، وينعكس جزء آخر مرة أخرى ليدخل في سلسلة من الانعكاسات الداخلية. وينكسر الشعاع الذي يمر من السطح الخارجي بسبب فرق الكثافة الضوئية بين الهواء والزجاج، فيمر داخل الزجاج بزاوية تختلف عن زاوية سقوطه، ولكن عند خروجه من السطح الآخر للزجاج ينكسر مرة أخرى فيستعيد اتجاهه الأصلي إذا كان السطحين متوازيين (وهو الوضع المعتاد) بينما يمكن إذا غيرت زوايا السطح الداخلية (مثل حالة الزجاج الزخرفي) أن ينعكس الشعاع انعكاس داخليا آليا بحيث يعود للخارج، وهي خاصية تستخدم في تصميم الزجاج ذو النفاذية الانتقائية مع الاتجاه.

إعادة بث الإشعاع الحراري

تتحول النسبة الممتصة من الإشعاع إلى حرارة تسخن الزجاج ثم يعاد نقلها من الزجاج بالتوصيل وبالإشعاع في صورة أشعة حرارية (تحت حمراء بعيدة). فيتجه جزء من هذا الشعاع للخارج وجزء للداخل، وتتوقف النسبة الممتصة للداخل والخارج على عدة عوامل أهمها الخواص الإشعاعية لسطحي الزجاج، ولكن يمكن بتبسيط مقبول في معظم الأحوال اعتبار أن نصف الإشعاع الحراري 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 الأبيض من خلال المنشور الزجاجي يتشتت إلى الألوان الأساسية للطيف المرئي والسبب في ذلك أن زاوية الانكسار تختلف طبقا لطول الموجة الخاصة بكل لون فيكون معامل الانكسار أكبر لطول الموجة الصغيرة للضوء البنفسجي منه لطول الموجة الكبيرة للضوء الأحمر.



صورة توضح انعكاس الصور وانكسار في المنشور الزجاجي



صورة توضح تشتت الضوء مكونا اللون الطيف

□ الخصائص الفيزيائية

يختص الزجاج بعدد من السمات المميزة التي تأتي من خصوصية بنيته ويندر أن تجتمع في غيره من المواد منها:

- البنية عديمة النظام التي تمنح الزجاج التجانس وخاصة تماثل المناحي والكثافة المعتدلة.
- - التغيير المتدرج اللاحدود للتركيب الكيميائي وتحضير مئات أنواع الزجاج والتغيير المستمر لخواصها،
- - التميع التدريجي وتغير اللزوجة مع الحرارة من حالة الجسم الصلب المثالي إلى حالة السائل وغياب درجة حرارة الانصهار المحددة،
- - التغيير المستمر للخواص الفيزيائية مع الحرارة،
- - استقلالية الخواص الميكانيكية عن التركيب الكيميائي وارتباطها بالبنية وحالة السطح ومقاومة التآكل.
- بناءً على هذه السمات، يوفر الزجاج طيف المتناقضات في الخواص، فهو شفاف وعاتم، متين وقصيف، قاس وقابل للصقل، عازل وناقل، خامل وفعل، مستقر وعديم الاستقرار، مطواع وعصبي.

لزوجة الزجاج

تعد اللزوجة من أهم الخواص التي تتحكم بسلوك الزجاج إبان مراحل الانصهار والتشكيل والمعالجة الحرارية والاستخدام. وتتعلق لزوجة الزجاج خصوصاً بالتركيب الكيميائي ودرجة الحرارة المرافقة لمعظم تقنيات الزجاج والتي تغير سلوك الزجاج من جسم صلب تفوق لزوجته إلى سائل قابل للتشكيل. من هنا، تم الاصطلاح على اختيار عدة درجات حرارة توافق قيماً محددة للزوجة الزجاج مما يسمح بتوصيف لزوجته ومقارنة أنواع الزجاج المختلفة. فدرجة حرارة العمل توافق لزوجة قدرها 104 بواز، ودرجة حرارة التميع softening point توافق لزوجة قدرها 107.6 بواز. أما درجة حرارة المعالجة الحرارية annealing point ، فهي تقابل لزوجة قدرها 1013 بواز. أخيراً، تمثل درجة حرارة التشوه strain point النهاية الصغرى لمجال المعالجة الحرارية وتوافق لزوجة قدرها 1014.5 بواز . يُصهر الزجاج وينقى من الفقاعات عند مجال لزوجة قدره 50-500 بواز، لكن تشكيل الزجاج يتطلب مجال لزوجة يتناسب مع كل تقانة تشكيل.

السلوك الترموديناميكي للزجاج:

لدى كل دورة تسخين، يعبر الزجاج درجة حرارة الانتقال إلى الحالة الزجاجية التي تميز انتقال الزجاج من السلوك الصلب القَصِف إلى السلوك السائل المرن اللزج ، ويترافق عبور هذه الدرجة مع تغير في الخواص مثل السعة الحرارية أو عامل التمدد الطولي التي تتمتع بقيم أعلى قليلاً من مثيلاتها في المواد البلورية المماثلة كيميائياً للزجاج. وعند دراسة منحني تغير السعة الحرارية للزجاج بدلالة درجة الحرارة حتى الصفر المطلق، يستنتج أن حالة القصور أو الأنثروبية entropy في الزجاج ليست معدومة، كما في البلورات، عند الصفر المطلق، وهذا ما يميز الزجاج، الذي يشذ عن القانون الثالث في الترموديناميك، من البلورات، ويضيف عليه سمة عدم الاستقرار الترموديناميكي. وعندما يسعى الزجاج نحو الاستقرار، فإنه يتبلور إما خارج حدود السيطرة مولداً عيوباً غير مرغوبة في المنتجات الزجاجية، أو تحت السيطرة والتحكم كما في تقانة الخزف الزجاجي. glass ceramics.

□ 4- الخصائص الحرارية :

1- المقاومة للحريق

لاكساب الزجاج كفاءة افضل في مقاومته للحرارة يكون عن طريق التحكم في مكوناته والاضافات والمعالجات المطبقة مثل تازجاج الخزفي وزجاج بوروسيليكات ويتاثر الزجاج العادي بالحريق نتيجة لخصائصه المتمثلة في :

ا- مقاومة الثني الطفيفة

ب- معامل التمدد الحراري العالي

الزجاج المقاوم للحريق

والزجاج المقاوم للحريق لايعني مادة الزجاج فقط لكن المظام التركيبي المستخدم بالكامل ونظام التركيب ومادة الزجاج ويجي اختبار نظام الاطار والمادة التي تتلاءم مع الزجاج ويكن اضافة وامل اخرى مثل جل للحماية وطبقات حماية من الحريق

التمدد الحراري

يعرف التمدد الحراري بالزيادة في وحدة الطول نتيجة لارتفاع درجة الحرارة وبالنسبة للزجاج فهو من المواد ذات المعامل التمدد القليل وبالتالي له مقاومة جيدة للصدمات الحرارية .

الانتقال والتوصيل الحراري

أ -تقليل نفاذ الحرارة صيفا للداخل

يجب أن تقلل النافذة من مرور الحرارة من الخارج للداخل:

١ (منع نفاذ الإشعاع الشمسي المباشر: بوسائل الإظلال المختلفة، أو بتحسين نوع الزجاج، مع ملاحظة التأثير المباشر لوجود الإشعاع الشمسي على الراحة الحرارية داخل الفراغات حتى قبل أن ترتفع درجة حرارة الهواء.

٢ (تقليل إشعاع الزجاج وعناصر الحرارة للنظام بأكمله في صورة موجات طويلة نتيجة ارتفاع درجة حرارة الزجاج، سواءا بانتقال الحرارة إليه من الهواء الخارجى، أو بامتصاصه لجزء من الإشعاع الشمسي الذي يتعرض له.

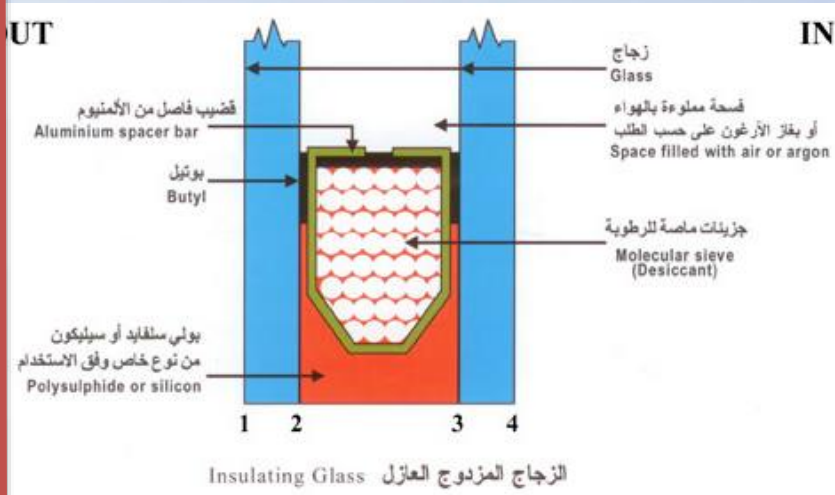
٣ (تقليل انتقال الحرارة بالتوصيل عبر الزجاج نتيجة لفارق درجة الحرارة بين الداخل والخارج وهو ما يتم مقاومته باستخدام الزجاج المزدوج الذي يحصر بين لوحيه فراغا هوائيا أو غازيا يمثل عازلا حراريا لانتقال الحرارة بالتوصيل، ولكن الحرارة تنتقل بين اللوحين بالحمل والإشعاع، مما يعطى أهمية من جديد الخواص الإشعاعية للزجاج.

ب -زيادة نفاذ الحرارة شتاء للداخل

وذلك بالسماح للإشعاع الشمسي المباشر بالنفاذ للداخل لفترة من اليوم، تكفى لرفع درجة الحرارة وتقليل أحمال التدفئة، وأذلك القضاء على الجراثيم داخل الفراغات.

ج- تقليل نفاذ الحرارة شتاء للخارج:

وذلك بتقليل نفاذية الزجاج للأشعة تحت الحمراء التي تبثها الحوائط والأجسام الساخنة داخل الفراغ. وزيادة العزل الحرارى للزجاج.



صورة توضح الزجاج المزدوج المعزول

خاصية نقل وانعكاس الصوت بواسطة

الزجاج

وجد عند تصميم النوافذ والفواصل والواجهات الزجاجية مشكلة انتقال الصوت عبر الهواء حيث يعتبر الزجاج من المواد الخفيفة ذات الاسماك الرفيعة التي تساعد على انتقال الصوت ويلزم معرفة ودراسة ماهو انتقال الصوت اولا ينتقل الصوت في الفراغ في صورة ذبذبات عن طريق الهواء فاذا مر صوت خلال فاصل فانه يمر اما من خلال طريق هوائي مباشر مثل الشقوق والفتحات او عن طريق اهتزاز القطوع ككل ليحدث صوتا في الجهة الاخرى مع اهمال الصوت الذي يحدث نتيجة اهتزاز جزيئات الصوت الذي يحدث نتيجة اهتزاز جزيئات المادة نفسها

لمنع انتقال الصوت

حساسية الضوء

بعض انواع الزجاج التي تنوي على مقادير قليلة من عنصر فلزي وايونات النحاس والفضة عندما تتعرض للأشعة فوق بنفسجية تسبب في تاكسد العنصر الفلزي وتقل ايونات هذه العناصر فتصبح في حالة معدنية وعند التسخين فان جزيئات المعدن تنطلق منها الوان قوية وذلك عند تعرض الزجاج للأشعة فوق بنفسجية لذا يتم استخدامه في الصو الثلاثية الابعاد والميكروفوتو ليثوجرافي لانتاج الدوائر الالكترونية المعقدة

□ 5- الخصائص الكهربائية

يعتبر الزجاج عازل جيد 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 وان كلما قلت لزوجة الزجاج قل توصيل الزجاج للكهرباء ويعتمد العزل الكهربائي على تحرك الايونات المعدنية القلوية الاحادية التكافؤ الحاملة للشحنات الكهربائية ومن ثم تحدد القابلية للتوصيل الكهربائي فالزجاج الذي يحتوي على نوعين او اكثر من الايونات القلوية المختلفة له قدرة توصيل كهربائي ضعيفة اكثر من وجود نوع واحد من الايونات القلوية

□ 6- الخواص الميكانيكية :

يسلك الزجاج في درجة الحرارة العادية وبعيداً عن درجة حرارة الانتقال إلى الحالة الزجاجية، سلوك جسم صلب مرن مثالي تقريباً. وتحت تأثير إجهاد متزايد، يتناسب تشوه الزجاج خطياً مع الإجهاد حتى الإنهيار الذي يحصل من دون إنذار. لهذا، يوصف الزجاج بقصافته وانعدام اللدونة الظاهرية ($\sigma = E \epsilon$) 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 الأعظمي لانهيار الزجاج، يلاحظ أن تبعثر النتائج كبير، وأن قيم مقاومة الإنهيار المقيسة منخفضة موازنة مع المقاومة النظرية للزجاج. يعود التبعثر إلى الطبيعة الإحصائية لانكسار الزجاج، ويعزى انخفاض المقاومة إلى الشقوق الصغرية microcracks السطحية التي تشكل أعماقها الصغيرة الأبعاد مناطق يتركز عندها الإجهاد.

يستنتج مما ورد أن الإجهاد الأعظم لانتهيار الزجاج لا يعد خاصّة مميزة بل هو دليل على مقاومته الميكانيكية، وأن عامل المرونة يمكن عدّه خاصّة مميزة لزجاج عن آخر. يمتلك الزجاج مقابل نقاط ضعفه، مزايا تجعل منه مادة هندسية لأغراض بنيوية أو غير بنيوية. ومن أبرز هذه المزايا مقاومته الميكانيكية العالية في غياب العيوب المجهرية السطحية، وإمكانية التقوية عبر معالجات حرارية سطحية صناعية مثل الإسقاء الحراري (الزجاج المقسّى حرارياً) والتبادل الشاردي (الزجاج المقسّى كيميائياً)، وهذا ما تشير إليه تطبيقاته الممتدة من أعماق المحيطات إلى الفضاء مروراً بصروح العمارة.

شكل تخطيطي لأنواع الزجاج

أنواع الزجاج

الزجاج الأبيض الشفاف العادي

الزجاج المصبوب

زجاج بورو سليكات

الزجاج المقاوم للحريق

الزجاج العازل للصوت

الزجاج الخزفي

الزجاج الملون

الزجاج المنحني

الزجاج ذو الرسومات

الزجاج المتعدد الطبقات

الزجاج المزدوج (المعزول)

الزجاج العاكس

الزجاج المسطح المصقول

الزجاج المسنفر

الزجاج المسلح بأسلاك

زجاج على شكل (U)

الطوب الزجاجي

الزجاج الملون بالضوء

الزجاج الملون بالغاز

الطبقات الوظيفية

طبقات بوحدات كهربائية

أنواع الزجاج

تتعدد أنواع الزجاج وفق مكوناتها وطريقة تصنيعها والخواص العامة لها كالتالي :-

1- الزجاج الابيض الشفاف :-

يأخذ الزجاج الابيض الشفاف العادي شكل ألواح زجاجية صافية (بمحتوى اقل من الحديد) وهو من أكثر الأنواع استخداماً .

ويتم تصنيعه بالطريقة التقليدية فمن الممكن تصنيع كميات من الزجاج الشفاف الصافي مسطحة تماماً وبأسماك تتراوح ما بين 2مم : 9مم .

كما يمكن الحصول على الخليط النقي المطلوب لتصنيع الزجاج بواسطة اضافة مواد كيميائية ضمن المواد الأساسية في التصنيع .

ومتوسط المقاومة للتغير الحراري في الزجاج العادي ما بين 30 درجة مئوية : 40 درجة مئوية كحد أقصى , وإذا زادت درجة الحرارة على سطح الزجاج عن متوسط الحرارة السابقة فيمكن أن يؤدي إلى كسر الزجاج , ويمكن زيادة مدى درجة الحرارة وذلك بمنعه من أن يبرد وتكون الشد والذي يؤدي إلى الكسر في ظل اختلافات درجة الحرارة المستمرة حتى أطراف الزجاج .

2- الزجاج المصبوب :-

هو زجاج غير شفاف ويعتمد في التصنيع على الصب واعتماداً على تركيبه الداخلي فإن الضوء يمكن أن يدخل بانتظام داخل الفراغ المراد إضاءته , وتتراوح المقاومة الحرارية للزجاج المصبوب كما في الزجاج العادي بين 30 درجة مئوية : 40 درجة مئوية كحد أقصى وشكل الكسر به يماثل الزجاج العادي , ومن أنواعه :-

1-2 الزجاج المسلح بأسلاك :-

يصنع الزجاج المسلح بأسلاك بطريق الصب ويعتمد في تصنيعه على إدخال شبكة أسلاك معدنية بتقاطعات 13مم ملحومة كهربياً بين شريطين من الزجاج المصهور , مما ينتج لوح قياسى بسبك 7مم , وللرؤية الواضحة فإن المنتج المصبوب يتم صقله لاحقاً بالماء والرمل ثم يلعب بألماظ خام ليصل إلى سبك 6مم .

من خصائصه المميزة أنه سهل القطع , ويمكن دمجه في زجاج متعدد الطبقات ولكن لا يمكن تجسيته ولا اعتباره زجاج أمن , فهو ليس أقوى من الزجاج المبرد بنفس السمك ولكن في حين كسره تبقى القطع في مكانها , وكلا من الزجاج المصبوب والمصقول لديه نفاذية ضوء 80% ويحسن الزجاج المصبوب من الخصوصية واختراق الضوء .

السمك	معامل التظليل	الانتقال الحرارى	الانعكاس الضوئى	نفاذية الضوء
4مم	0.89	0.9	0.06	0.92
6مم	0.95	0.83	0.08	0.87

أنواع وأبعاد الزجاج المسلح بأسلاك

تطبيقات الزجاج الانشائي والمعماريه



شكل توضيحي لزجاج ابيض شفاف



مشروع Reina sofia museum of modern art



شكل الزجاج المسلح

وعند تعرضه للحريق فلدیه مقاومة لمدة ساعة ، وتقوم شبكة الحديد تشتت بعض الحرارة ولكن فى النهاية سوف يشرخ ، وخاصة عند رشة بالماء وهو ساخن ، وفى حالة شرخ الزجاج تظل شبكة الحديد حاملة للقطع المنكسرة فى مكانها على على الأقل حتى تصاب الشبكة بالتآكل .

وتصل أبعاد المصبوب بسبك 7مم إلى 1980مم×3700مم، 1840مم×2760مم، 1840مم ، 1840مم×3200مم ، وللمصقول بسبك 6مم إلى 1980مم×3300مم ، 1905مم×2540مم . كما يستخدم

فى زجاج الأسقف بأبعاد لاتزيد عن 100سم أو فى الزجاج الرأسى بارتفاع 180سم : 200سم .

اسلوب النهو	شكل الشبك بالزجاج	اقصى ابعاد		السبك (بوصه)	انواع الزجاج المزود بشبك
		الطول	العرض		
الحريق او التجميد	سداسى الشكل فقط	12	4	0.25	مزخرف او حبيبي دقيق
	سداسى او ثمانى الشكل	12	4	0.25	مزخرف او حبيبي متوسط
	سداسى او ثمانى الشكل	12,4:8	4 4	0.375 0.25	مزخرف او مطروق
	سداسى او ثمانى الشكل	10,11,1 2	4,10,5	0.25,0.25	ملمع شفاف
	سداسى الشكل فقط	12	4	0.25,0.375	مزخرف او مضلع صغير
	سداسى الشكل فقط	12	4	0.25	مزخرف او مضلع كبير

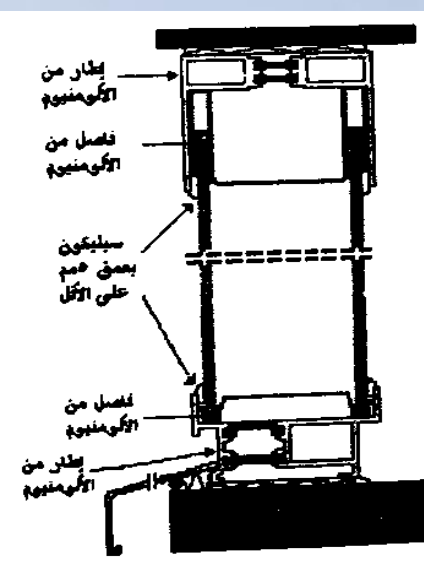
أنواع وأبعاد الزجاج المسلح بأسلاك

2-2 زجاج على شكل U :-

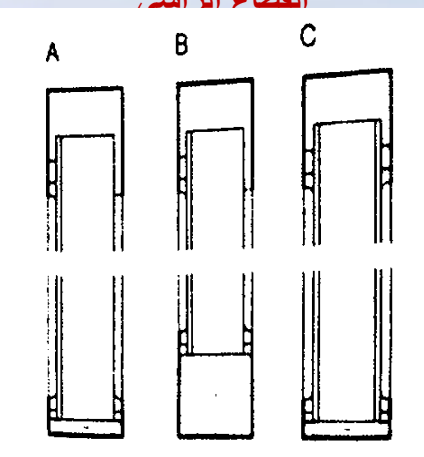
الزجاج على شكل U هو زجاج يتم تصنيعه من رمل السيليكا على النقاء ذو سطح إنشائى يشكل داخل قوالب فى مرحلة الانصهار ، حيث يتم فرد شريحة الزجاج وهى فى حالة الليونة ثم يمرر على فرم او قوالب وتصبح الأطراف مثنية لأعلى رأسيا على على شكل U، والوحدات الزجاجية الناتجة بسبك 6: 7 مم ، وعرض 23.2 سم : 49.8 سم ، وعمق 4.1 سم : 6 سم وحتى طول 7م بدون أو بأسلاك طويلة

يتم تثبيت الألواح الزجاجية بإدخالها فى إطار معدنى بعمق 50مم ويتم ترتيبها ووجهها لأسفل وخلصها من الإطار المعدنى للداخل بعمق 20مم تقريبا وبعرض 2سم من أعلى و1.2 سم من أسفل ومراعاة هذه الشروط فى تثبيت ضرورية للاتزان لحماية الحائط عند التشييد ويمكن الحصول على عزل حرارى على بواسطة التشييد المزدوج حيث حيث يتكون الفراغ الداخلى نتيجة تقابل وجهى لوحى الزجاج ولكنها طريقة غير محكمة بعكس الزجاج المزدوج .

يمكن استخدامه رأسيا أو أفقيا او لتشبيد الأسقف ببحر 3مم (مع تثبيت كل قطاع بشكل مفرد فى إطار معدنى) ويمكن أن يصل بحر التشبيد بها إلى 7م بدون دعائم وسطية أو عناصر إطارية متعددة على التحميل ، كما يمكن عمل حوائط مستقيمة او منحنية بقطر كبير وتكون الوصلات الرأسية ما بين القطاعات الزجاجية من السيليكون والتشييد بالوحدات المزدوجة اقوى من المفردة وبالتالي ينصح بالوحدات المزدوجة للأغراض الإنشائية ويتسم الوجه الداخلى للوحدات الزجاجية بأنه دائما صافيا وهناك العديد من الأشكال والنهوء والمعالجات والدهانات على السطح الخارجى كالتالى :



تفصيلية لتركيب وحدات الزجاج
بقطاع U بالاسلوب المزدوج فى
القطاع الرأسى



استخدام الزجاج U فى زجاج
التوافذ المزدوجة

-نهو خشن : الشكل الأساسى انها خشنة الملمس الخارجى لتعطى تأثير شبه شفاف لتوزيع الضوء النافذ .

-نهو أملس : وهذا الشكل الأساسى للوحدات وهى تستخدم فى أماكن تحتاج درجة معينة من الشفافية للرؤية الخارجية الجيدة .

- الدهانات ومعالجات السطح : يمكن تطبيق العديد منها على الوجه الداخلى للوحدة الزجاجية لتعطى أفضل عزل حرارى وتحكم شمسى ويكون بأن يعالج بالرمل المندفع او المعالجة بالأحماض وذلك لأغراض الديكور وتعمل على توزيع افضل للضوء الساقط إذا تطلب نفاذية منخفضة للضوء .
- التدعيم بالأسلاك : يمكن أن تحتوى قطاعات الوحدات الزجاجية سلوك تدعيم طولية من حديد غير قابل للصدأ وذلك ولزيادة الأمن والأمان فى حالة كسر الزجاج .



2-3 الطوب الزجاجى :-

يستخدم الطوب الزجاجى لتشييد الحوائط الغير حاملة وللقواطع الداخلية ينتج فى شكل بلوكات ويشتمل على نوعين أساسيين :

1- الطوب المفرغ :

صورة توضح شكل الطوب الزجاجى

هو عبارة عن طوب زجاجى مفرغ داخليا وينتج من خليط مكونات الزجاج وبعد صهرها إلى حوالى 1200م يتم تبريدها وتشكيلها إلى أنصاف وحدات ثم يجمع كل اثنين مع بعضهما ويتم تسخينها مرة أخرى مما يؤدي إلى تلاصق السطحين المتلامسين ثم صهرهم مع بعضهم وبالتبريد مرة أخرى يتكون فراغ داخل الوحدة المتكونة والذي يتم تفریغه من الهواء جزئيا

2- وحدات طوب مصمتة :



وتصل قيمة الفقد الحرارى U إلى 2.5 وات / متر مربع كلفن وتتراوح نفاذيته للضوء من 50% : 85% ويبلغ سمك البلوكات الناتجة 8 سم : 10 سم وبأبعاد 11.5 سم : 19 سم ، 24 سم : 30 سم ووزن الوحدة 2.5كجم (60كجم للمتر

صورة توضح شكل الطوب الزجاجى

المصمت



(المسطح) والسطح الخارجى للوحدة يمكن أن يكون أملس او مشكل وتبعاً لتأثير الصهر ويمكن تلوين الطوب الزجاجى ويعتبر عنصر تصميمى مميز فى الواجهات المعمارية ويوجد وحدات ذات ألياف زجاجية تعطى إمكانية أفضل فى التحكم الشمسى وهناك طريقتين أساسيتين لتثبيت الطوب الزجاجى :

-الأولى : باستخدام مونة الأسمنت بنفس لونه او ملون (2 جزء أسمنت

-بورتلاندى ، 1 جزء جير ، 8 اجزاء رمل) ويكون سمك المونة المستخدم 0.25 بوصة وذات سطح مقعر للداخل وتكون الحوائط منحنية او مستوية حيث يعتمد اقل قطر على مقاس الوحدة المستخدمة

صورة توضح اشكال وانواع الطوب

الزجاجى المصمت

-الثانية : يتم التثبيت فيها بالسيليكون بدلا من المونة .

تناسب هذه الطريقة الحوائط الخارجية لتركيب النوافذ الألومنيوم ويمكن استخدامها في الحوائط الداخلية وتم تصميمها ليسهل تركيبها في الحوائط المستوية وهي غير مناسبة للحوائط المنحنية وهي يمكن استخدامها لكل من الحوائط الداخلية والخارجية :

(أ) فالحوائط الخارجية يستخدم إطار الألومنيوم للحماية من الظروف المناخية وللنهو الخارجى وهو مصمم ليناسب الوحدات بعرض 80مم ويمكن استخدام السيليكون او المونة للتركيب

(ب) ومع الحوائط الداخلية فإن الإطارات من خشب الموسيقى (ذات النقر واللسان) تكون مثالية للاستخدام ويمكن استخدام السيليكون او المونة في التثبيت , والحوائط المشيدة من الطوب الزجاجى بوصلات من المونة يمكنها مقاومة الحريق لمدة ساعة باستخدام وحدات من الطوب الزجاجى مقاس 80×190×190سم بمساحة حائط لا تتعدى 3م×3م ووصلات المونة بسمك 10مم ويتم التسليح رأسيا وأفقيا والتغطيات السقفية او الأرضيات من الطوب الزجاجى يمكن اعتبارها من الزجاج القابل للسير عليه

3- زجاج بورو سيلكات :-

ويحتوى زجاج بوروسيليكات على 7% : 15% اكسيد البورون وبمقارنته مع الزجاج العادى فله معامل تمدد حرارى منخفض , مما يزيد من مقاومته للحرارة وايضا لديه مقاومة عالية للمحاليل الحمضية والقلوية .

4- زجاج المقاوم للحريق (المعالج حراريا) :-

يعرف بانه عبارة عن الواح زجاجية مزودة بدعامات زجاجية انشائية مناسبة تستخدم لانتاج زجاج مصمم للحماية من الحريق , وهو ينقسم الى مستويان وفق مستوى الحريق الذى يتعرض له (F & G) . ويستعمل هذا النوع في الابواب والنوافذ والحواجز واعمال الاعلانات التجارية

1- زجاج المستوى F :-

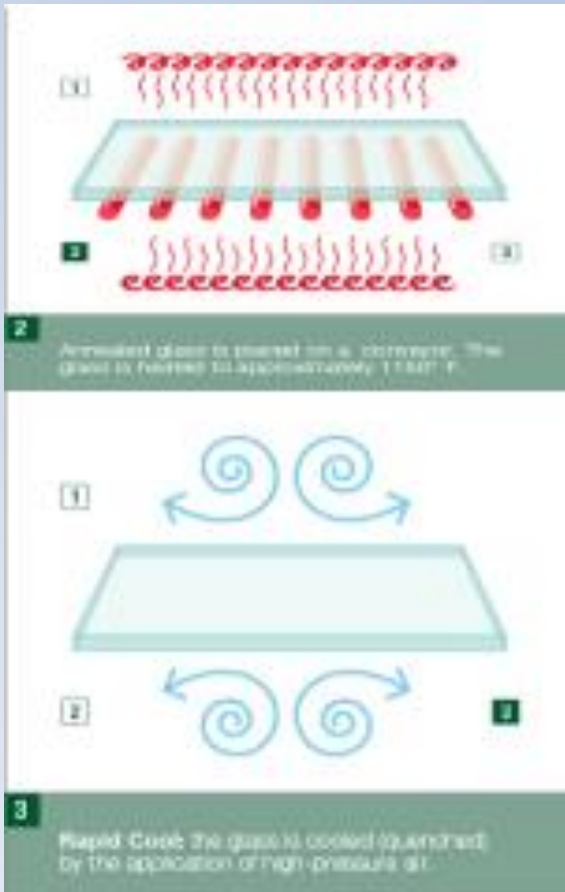
يحتوى على طبقة اضافية للحماية من الحريق (عزل حرارى) وتسمح بمقاومة الجانب المواجه للحريق الى حوالى 140 كلفن ويوجد لها نوعان :

1-1- زجاج مزدود بطبقة من جل حامى من الحريق :-

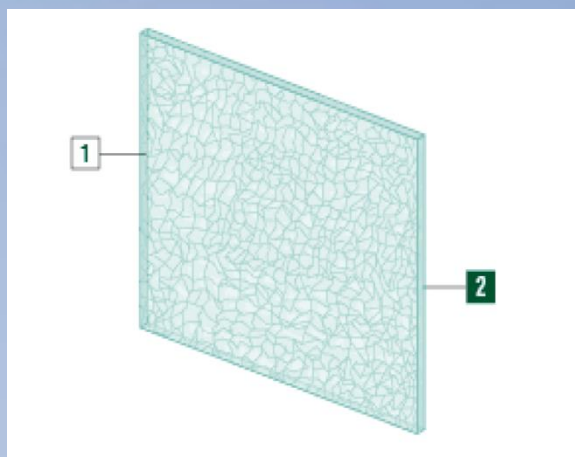
يتكون من طبقات من زجاج أمن بحوامل على مسافات مختلفة , والفراغات بين طبقات الزجاج تملئ بالجل بدلا من الهواء أو الغاز الخامل , وفى حالة الحريق يتحول الجيل الى رغويات وتأخذ فى الانتفاخ وتترك الطبقة الخارجية تتحطم عند درجة حرارة 500 درجة مئوية تقريبا , وتعتم طبقة الجل فى تلك الحالة , وتظل درجة الحرارة فى باقى الطبقات التالية منخفضة .



بعض الاشكال التطبيقية على الطوب الزجاجى



صورة توضح فكره مقاومه الحريق فى الزجاج



2-1- زجاج مزدود بطبقات للحماية من الحريق :-

يتكون من طبقات زجاجية متعددة ويوجد بينها طبقات حامية من الحريق شفافه اللون , وفي حالة الحريق تصبح تلك الطبقات الداخلية نشطة وتشكل حاجز فعال .

2- زجاج المستوى G :-

شكل توضيحي لمادة الحماية بين الطبقات

يتكون هذا الزجاج من إطارات خارجية مختلفة أو أسطح زجاج عاكسة للأشعة تحت الحمراء تقلل الاشعاع الحرارى , ويظل صافى باستثناء الطبقات الحامية من الحريق ويوجد له نوعان :

1-1- زجاج حامى من الحريق مزدود بزجاج خزفى :-

وهو زجاج شفاف يتكون من خليط كريستال وكوارتز عالية الجودة , وفي الغالب ليس له أى تمدد حرارى , لذا يتمتع بمقاومة عالية للحرارة ضد أى اختلافات عالية فى درجة الحرارة (حتى 800 درجة مئوية) .



2-1- زجاج يتكون من ألواح سابقة الاجهاد للحماية من الحريق :-

يظل هذا النوع من الزجاج شفاف مع درجات الحرارة المختلفة مثل :

أ) PYRAN : وهو زجاج بوروسيليكات معالج حرارياً ويمتاز بجودة عالية , ولديه معامل تمدد حرارى منخفض , وذو كثافة عالية أكثر من الزجاج سيليكات الصوديوم , وله أسماك متدرجة وفق مستوى الحريق .

ب) BIFIER-STOP , PYRANSWISS : وهو زجاج أمن حامى من الحريق على درجة عالية من الجودة والصلابة من الزجاج المسطح من سليكات الصوديوم .

احدى المشاريع المستخدم بها الزجاج المعالج حرارياً

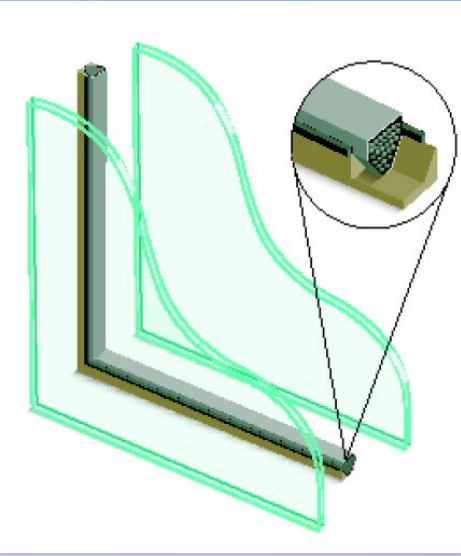
مقاومة الحريق للزجاج الغير معزول		
النوع	السلامة (دقيقة)	السبك (مم)
الزجاج الجورجي المصبوب او الاسلاك	60- 30	7
الزجاج الجورجي المفصول ذو الاسلاك	120- 30	6
الزجاج المقوي	90- 30	6
الطوب الزجاجي	60-30	80

مقاومة الحريق للزجاج المعزول			
النوع	العزل (دقيقه)	السلامة (دقيقة)	السبك (مم)
طبقات من الزجاج بطبقات الجل المنتفخ	-	30	10
	30	30	12
	30	60	15
	60	60	21
	120	120	50 (زجاج مزدوج)

بيانات مقاومة الحريق المعطاة تعتمد على أبعاد الزجاج , النسبة الاتساعية والنظام الزجاجى المستخدم

تطبيقات الزجاج الانشائيه والمعماريه

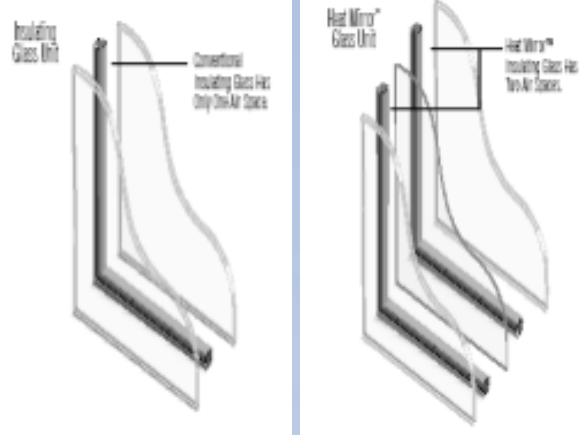
5- الزجاج العازل للصوت



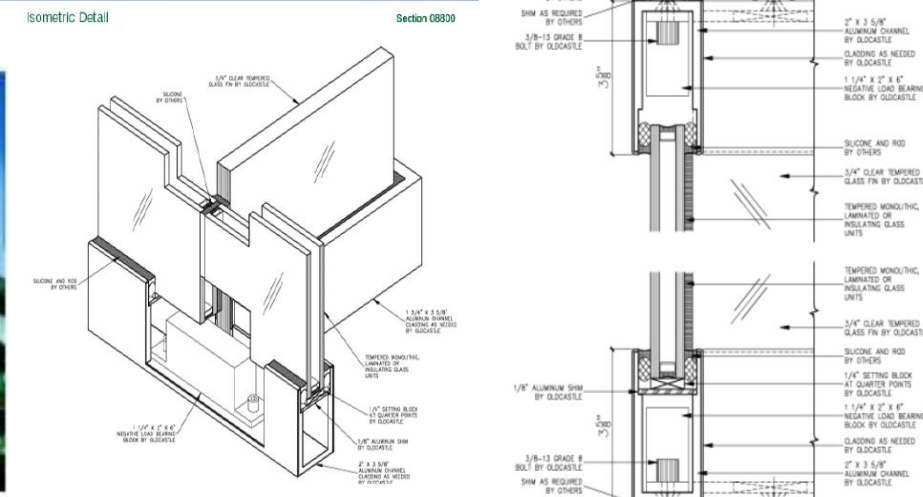
يتولد الصوت عند حدوث اهتزاز متواصل للذرات في الوسط المحيطة , وهو ينتشر عن طريق الموجات التي تتعدى سرعتها 330م/ث , وتنتقل بسرعة سير عالية خلال الطبقات الصلبة ولكنها لا تستطيع ان تنتقل خلال الفراغ , ويمكن تجهيز الزجاج بطبقات داخلية عازلة للصوت لتحسين جودة الامتصاص , مثل الزجاج المزدوج ويمتاز الزجاج المتعدد الطبقات بالطبقة البينية بخصائص افضل في العزل الصوتي .

خصائصه :

يصنع هذا النوع طبقا لمواصفات المشروع الذي سوف يقام ويصمم هذا النوع من الزجاج حسب الطلب حيث انه يمكن ان تصنع بالسلك الزجاجي يتراوح من 3|16 بوصة ل 7|8 بوصة ويستخدم في البيئه ذات مستويات الضوضاء العالية كالمطارات او الطرق السريعة او المناطق المزدحمة ازدحاما شديدا كما انه يستعمل في النوافذ الثابتة والجدران الستائرية



شكل توضيحي لطبقات الزجاج العازلة للصوت



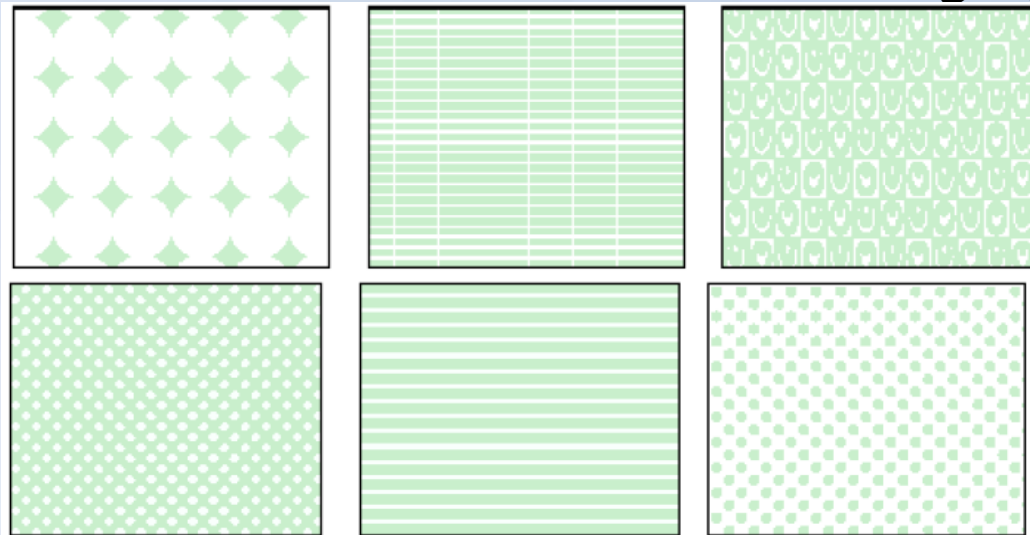
احدى المشاريع المستخدم بها الزجاج العازل للصوت

منظور توضيحي لزجاج عازل صوت وحرارة

قطاع توضيحي لزجاج عازل للصوت

6- الزجاج الخزفي :-

نتيجة للتطور اساليب التصنيع امكن تصنيع مواد متبلورة لها شفافية عالية , ويصنع الزجاج الخزفي مثل الزجاج العادي بالشد واللف ويمكن تلوينه , ويظل شكل الكسر فيه يطابق فى الاساس الزجاج العادي ويستخدم فى قطاع البناء .



بعض الاشكال للزجاج الخزفي

تطبيقات الزجاج الانشائي والمعماريه

7- الزجاج الملون :-



استخدام الزجاج المطلي او الملون (ذا طبقات ملونه) او مكونة من طبقات تمتص أشعه الشمس حيث ان الاشعة الفائق بنفسجية تضر بالاثاث والانسجة الداخلية. ولذلك فان ذلك الزجاج يحول الطاقه الممتصه الي حرارة ثم الي الخارج فتطبيقاته واستخداماته لاتعد ولا تحصى في الواجهات والقواطع وغيرها حيث أن الالوان في طبقات لا تبهر لانها مستقرة جداريا وضوئيا ويمكن التلاعب بدرجه اللون وشده بعمل عدة طبقات من الزجاج ماعدا في حالة استخدامه كزجاج أمان فيجب استخدام طبقة واحده كما انه غير متناظر لذا لا يكون اللون نفسه من الجهتين ويكون متناظرا اذا كانت الطبقات بنفس التسلسل من الجهتين من انواعه الزجاج الملون بالاكاسيد , الزجاج الملون بالضوء والزجاج الملون بالغاز .

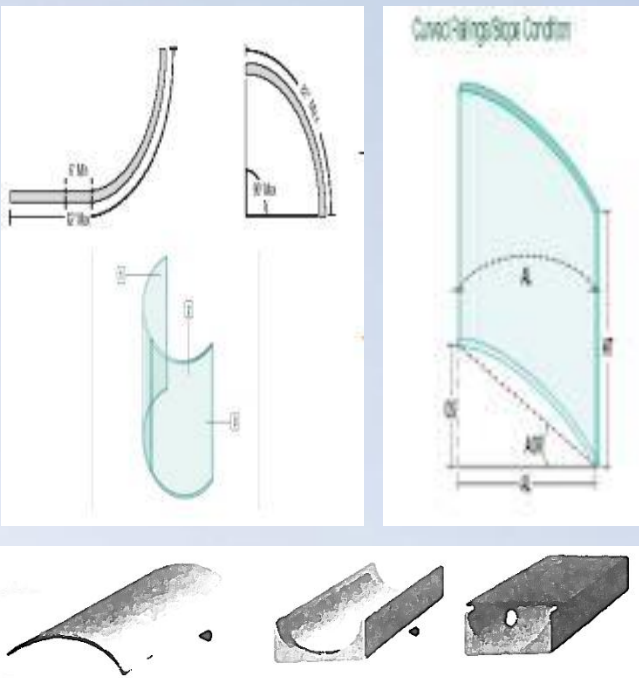
الزجاج الملون بالضوء :-

يتميز الزجاج الملون ضوئيا بذاتييه الضبط حيث تنخفض نفاذية الضوء او توماتيكيا مستجيبة لتعرضها للاشعه فوق بنفسجية او موجات قصيرة من الضوء المرئي وتعتمد طريقه التلوين الضوئي علي الانتقال العكسي حيث تاخذ مكان في البناء الداخلي لكريستالات الهالوجين الفضائيه ومن مميزات هذا الزجاج انه شديد الاحتمال وله مقومه للموا الكيميائية .

الزجاج الملون بالغاز :

يعد من أنظمة التلوين الحراري وتعتمد فكرته علي نظام التلوين الغازي والذي يتغير اللون بها نتيجة خليط من الغاز ز

8- الزجاج المنحني :-



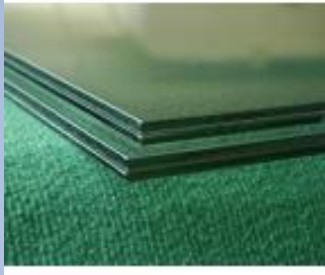
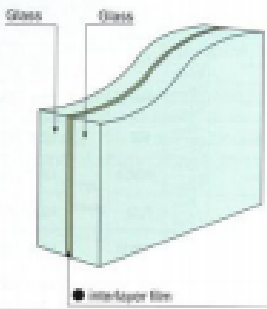
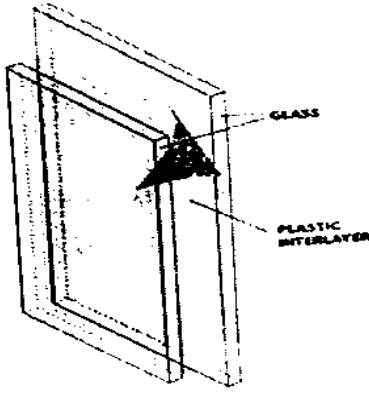
مراحل تشكيل الزجاج المنحني

هو زجاج بقوس بقطر معين بفعل معالجة الحرارة لعمل نوعيات معينة كما انه يستخدم في المباني التجارية والسكنية غير الدريزينات والادراج الحلزونية - القواطع - ابواب - المصاعد - النوافذ- مواصفات الزجاج المنحني التي تحدد وقت صناعته هي طول القوس الداخلي الخارجي ودرجة الانحناء وعمقه-المسافة بين الطرفين المتقابلين للزجاج -الطري الداخلي والخارجي والجماليات يجب ان تحدد قبل الصنع وانواع الانحناءات هي اسطوانى بزوايه 90 او اقل او اسطوانى مع ضلع ملامس مستوي اقل

9- الزجاج متعدد الطبقات :-

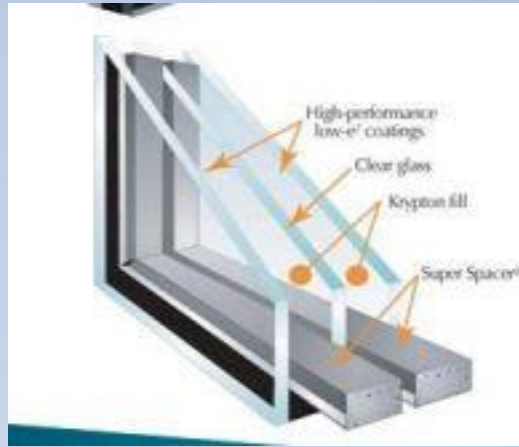
يتكون الزجاج المتعدد الطبقات من طبقتين او اكثر من الالواح الزجاجية , وتلتصق مع بعضها بواسطة مواد بلاستيكية مثل PVB او PMMA .

ويستخدم هذا النوع من الزجاج كزجاج امن , بسبب ان طبقات PVB تمنع شظايا الزجاج من الانتشار في حالة الكسر , اما الزجاج المتعدد الطبقي المجسئ حراريا فيستخدم في الاماكن التي تحتاج الى اجهادات عالية ولا يستطيع الزجاج العادي تحملها , وبدمج انواع واسماك مختلفة من الزجاج والمواد اللاصقة يمكن الوصول الى اداء متميز من حيث زيادة مقاومة الكسر والتفتت .

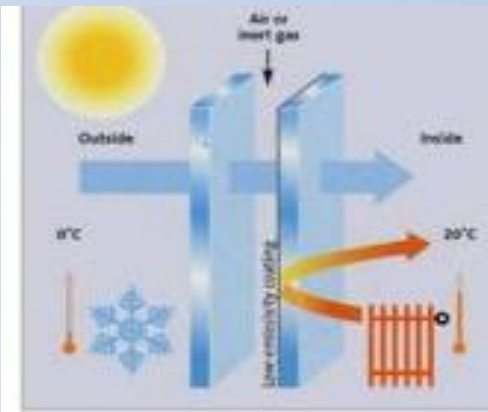


10-الزجاج المزدوج :-

تتكون النافذة من لوحان او ثلاث الواح من الزجاج ويكون بينهم فراغ وقد يكون مفرغ الهواء او ملوء بغاز الارجون الذي له درجة نقل حراري اقل من الهواء ولعمل هذا الفراغ بوضع مبادئ بين الواح الزجاج ويملاً بماده تمتص الرطوبة ثم تحكم حواف الزجاج من جميع الجهات وذلك بسداد قوي لمنع تسرب الغاز وتراكم الاتربة داخل الفراغ ووجود الفراغات تعمل كطبقة بين صفحات الزجاج تؤدي إلى تقليل انتقال الحرارة شتاء من خلال النافذة من داخل المبنى الى الخارج عن طريق الإشعاع والنقل من خلال تيار الهواء والتوصيل بواسطة مادة الزجاج نفسها اما صيفا تقلل ايضا من امتصاص الحرارة من خارج المبنى الى داخله وذلك بنفس الطرق السابقة كما انه يزيد من نسبة امتصاص الصوت الضوضاء



صوره توضح طبقات الزجاج المزدوج

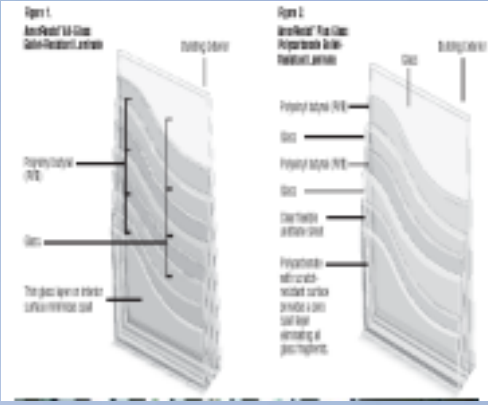


11-الزجاج العاكس :-

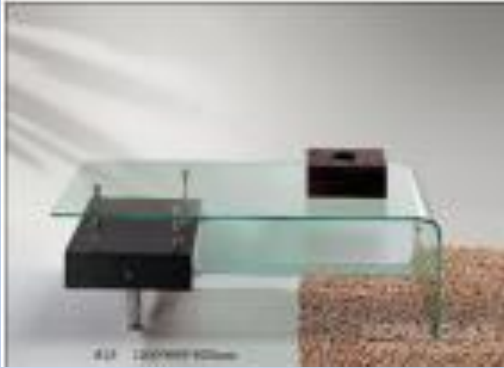
هو زجاج عليه طبقة معدنة رقيقة ويعمل علي عكس أشعة الشمس علي اللوح وتخفيض درجة الحرارة داخل المبنى كما يحقق الخصوصية طوال فتره النهار ويكون عادة بألوان مختلفة مثل «لفضي والذهبي» ويعطي انعكاسا يشبه انعكاس المرايا في الخارج اما من الداخل فيمكن الرؤية من خلاله بوضوح



12- الزجاج المقسي او زجاج الامان (السيكوريت)

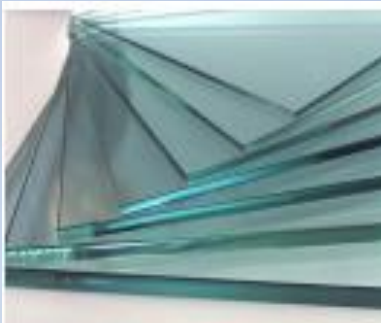


ويصنع هذا الزجاج بتسخين الزجاج البلوري المصقول لدرجه الانصهار ثم يبرد فجأة وبذلك تصبح الاسطح الخارجية في حالة ضغط بينما الطبقة الوسطي في حالة شد لزيادة القوي الميكانيكية للألواح الزجاجية فهو اقوي من الزجاج البلوري بحوالي 3 الي 5 مرات في مقاومته للصدمات والكسر المفاجيء.. ويدخل في صناعات مختلفه وكثيرة منها المسلح بشبكة معدنية لزيادة مقاومته ولوقايته من التطاير عند الكسر ومنه نوع اخر وهو الزجاج المضاد للانفجار لحماية المباني من كل الاضرار بسبب الانفجارات ويكون بدون تسليح للزجاج.



والمادة التي تساعد علي تماسك الزجاج وعدم كسره هي طبقات من البلاستيك المتصلب
والنوع الثالث هو الزجاج المقاوم للرصاص وهو عبارة عن عدة ألواح من الزجاج المصقول او زجاج وبلاستيك صممت لمقاومة دخول الرصاص او هجوم اخر فهذا النوع يعمل كالاتي :
يقوم اللوح الزجاجي الخارجي المقوي بالحرارة بمقاومة الاضرار المتسببه من سقوط جسم معين ولوح زجاجي اخر مصقول يجتذب اي اجزاء منكسرة ولوح من الزجاج المعدل والمخفف حتي يجعل الزجاج المتكسر الصغير ينزلق من خارج السطح علي الارض لتجنب إحداث اي ضرر

13- الزجاج المسطح المصقول :-



الزجاج المسطح المصقول

هو خالي من العيوب والتموجات (زجاج ذو سطحين متوازيين) حيث انه يتم تعويم الزجاج السائل علي حمام من القصدير السائل للحصول علي رؤية محسنة من خلاله ويطلق عليه في الاسواق (زجاج فلوت) و احيانا يطلق عليه polished glass

14- الزجاج المصنفر :-

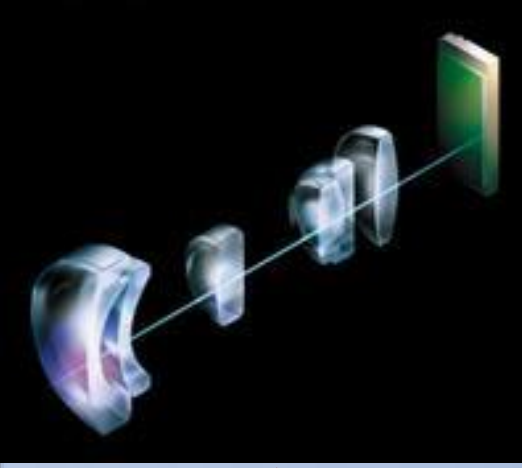
يمنع الرؤية المباشرة مع السماح بنفاذ جزء من الضوء وذلك بسنفرة الرمل



الزجاج المصنفر

معالجات الاسطح الزجاجيه

1- المعالجات الكيميائية:



معالجة الزجاج

يمكن تجزئة كلا من الزجاج المسطح والمنحني كيميائيا وتعرف هذه العملية بالتبادل الايوني ، وفيها يتم غمر الزجاج في ملح مصهور في درجة حراره أقل من نقطة تشكل الزجاج العادي فعندما يكون الزجاج من الصودا سيليكيا يحتوى الحمام على نترات الصوديوم وفى أثناء الغمر فان ايونات البوتاسيم الكبيره «فى المحلول» تستبدل المكان مع ايونات البوتاسيم الصغيره «على سطح الزجاج» مما ينتج عنه إجهادات ضغط على السطح وبالتالي فإن الزجاج الناتج يكون لديه مقاومه عاليه للاحمال الحراريه والميكانيكيه حيث يصل عزم الانحناء إلى 200 نيوتن/مم مربع ويمكن تقطيعه بعد المعالجه ولكن أى خدوش تفقده المعالجه

2- المعالجات الحراريه:

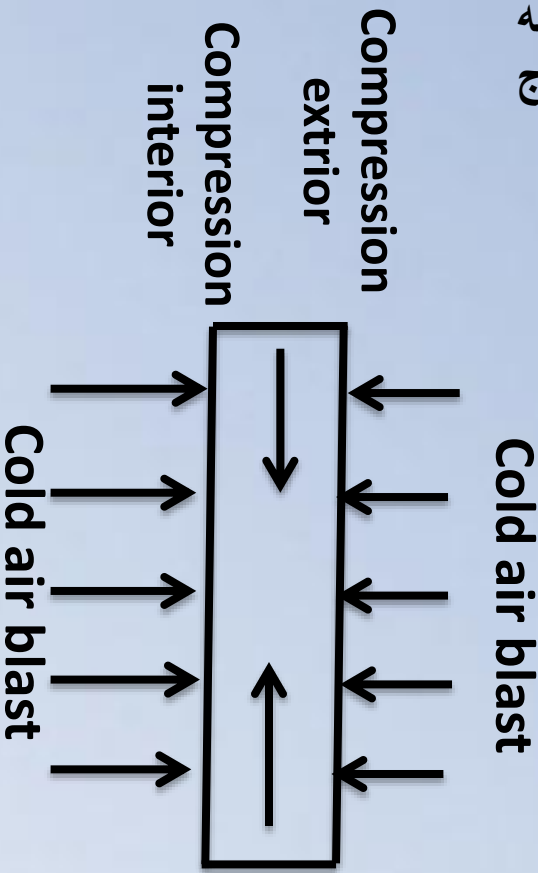
من أجل الحصول على مقاومه عاليه للإجهادات الحراريه والميكانيكيه وتحقيق انماط كسر محدده لإستعمالات الزجاج الآمن يتعرض الزجاج العادى لمعالجه حراريه وهناك نوعان من الزجاج المعالج حراريا :

1-الزجاج المعالج تماما:

فيه يتم تسخين الألواح المستويه إلى مابعد نقطة التشكل «640»درجه مئوية وعند وصوله لهذه الدرجه يتم تبريده فجأه بدفع هواء بارد عليه مما يولد ضغط على السطح مساوى لقيمة الشد الناتج فى قلب الزجاج مما يجعل الزجاج فى حالة إتران فيصبح أكثر مقاومه وبالتالي يزداد عزم الانحناء وكذلك تزداد مقاومه الكسر وأثناء تحميل الزجاج فإن سطحه يمكن ان يتحمل قوى إحتكاك أكبر وذلك بسبب إعادة تحميله من الزجاج العادى ولا يمكن تشغيله بعد المعالجه سواء بالقطع أو بالتخريم وهو أقوى خمس مرات من الزجاج العادى وأقوى مرتين من الزجاج المعالج جزئيا بالحراره بنفس السمك والأبعاد وعند التعرض للصدم فإنه يتعرض إلى قطع صغيره جدا آمنه وبالتالي يقلل إحتتمالات الاصابه وذلك بالمقارنه مع الزجاج العادى

2-الزجاج المعالج جزئيا:

يتم تسخينه مثل الزجاج المعالج تماما ولكن يبرد ببطى مما يولد ضغط على السطح ولكن أقل من الزجاج المعالج تماما وهو أقوى مرتين من الزجاج العادى ومن الاختلافات الاساسيه بينهما شكل الكسر حيث انه ينكسر من الحافه للحافه بدون أى أجزاء مصمته ولا يمكن غتباره زجاج آمن واللوح الفردى منه المثبت من أربع جوانب يجب تثبيته فى إطار ويمكن دمجه فى الزجاج المتعدد الطبقات ويستخدم فقط فى حالات مقاومه الكسر الحرارى والميكانيكى وفى الحالات التى يتعرض فيها المبنى لضغط رياح متوسط .



زجاج قابل للكسر

ولكن بعد المعالجات نجد أن بعض خصائص الزجاج تتغير والبعض لا يتغير، فنجد أن خصائص اللون من الوضوح والصفاء، التكوين الكيميائي وانتقال الضوء، التصدد والوزن النوعي ومعامل التمدد تظل كما هي ولكن الشيء الوحيد الذي يتغير هو تحسين الانحناء ومقاومة الشد وتحسين مقاومته للإجهادات والصدمات الحرارية وهذا الجدول يوضح أنواع الزجاج المقوى حرارياً .

النوع	الاستخدام الأمثل	المقاسات القصوى				متوسط اللون
		الطول	العرض	الخلوص	السبك	
لوح مزخرف الشكل	الحوائط الستائريه	7:12	4:6	1/46	0.25.	أبيض أسود و 16 لون
		5	7.33	0.045	5/16	أبيض أسود و 12 لون

جدول يوضح أنواع الزجاج المقوى حرارياً .

بعض أنواع الزجاج المعالج :

1-زجاج الانبعاث المنخفض:

ن الزجاج العازل للحرارة (المعروف أيضا بالزجاج ذي الانبعاثات المنخفضة) يشكل عادة لوحة زجاجية داخلية لوحدة الزجاج العازل. فهذا الزجاج لديه طلاء معدنيا شفافا يعكس الحرارة من المشعاعات والحرائق إلى داخل الغرفة، وذلك عوض السماح لها بالخروج من النافذة. وفي نفس الوقت، إنها تسمح لحرارة وضوء الشمس الطليقين بالمرور عبر الزجاج

2-الزجاج المقسى:

إن الزجاج المقوى هو خمس مرات أكثر مقاومة للتكسر من الزجاج العادي. إذا تكسر هذا الزجاج، فهناك احتمال قليل جدا لوقوع إصابات بسبب القطع المتكسرة. يقدم الزجاج المقوى فرصا أكثر لتزجيج مساحات كبيرة وذلك دون المجازفة



زجاج الانبعاث المنخفض



الزجاج المقسى

الزجاج المصفح:

إن هناك نوعان من الزجاج متاحان للحماية من أخطار الإصابة تبعاً للمكان وللکیفیه التي تم بها الترزیج. فزجاج السلامة المُقسی قد مر بالمعالجة الحرارية للزيادة من صلابتها الكلية. وبصفة عامة، فهو خمس مرات أقوى من الزجاج العادي. ولإعطاء مثال، فقطعة من الزجاج المُقسی: 8 میللمتریمکنها أن تتحمل الاصطدام مع كرة حديدية وزنها نصف كيلوجرام يتم إسقاطها من إرتفاع مترين.

زجاج الطبقتين:

إن الزجاج ذي الطبقتين يوفر الطاقة. فمن أجل التوصيل الحراري المنخفض للهواء المحبوس فيما بين طبقتي الزجاج، يمكن للزجاج العازل أن يخفض تحويل درجة الحرارة من الداخل إلى الخارج. إنه يمكن أن يوفر من 30 إلى 50 بالمائة من الطاقة. إنها تقدم أداء عازلاً للصوت. يمكن للزجاج ذي الطبقة الواحدة أن يخفض الضجيج إلى: "20-22 dB".

الزجاج المخدش بالحمض:

يساعد الزجاج المخدش بالحمض على خلق شعور فريد من بالدفع والأناقة في المنزل عبر نشر الضوء وانبعاث شيء من صفاء اللون والضوء. إنه يحافظ على الخصوصية، داخلياً وخارجياً، عبر تعقيم الرؤية وذلك دون المساس بمستوى الضوء المطلوب.

زجاج معالجة الحواف:

يتم استخدام زجاج معالجة الحواف من أجل أي نوع من أنواع الاستخدامات، في المنتجات الخاصة للزجاج المُقسی (زجاج الهيكل، الأبواب، ستارات الحمام، حواجز الشرفات، الأثاث، إلخ). ويتم استخدام زجاج معالجة الحواف للديكور من أجل الحواجز الزجاجية، ستارات الحمام، الأثاث (أثاث المكاتب، الطاولات، الرفوف)، اللوحات الإعلانية، إلخ.



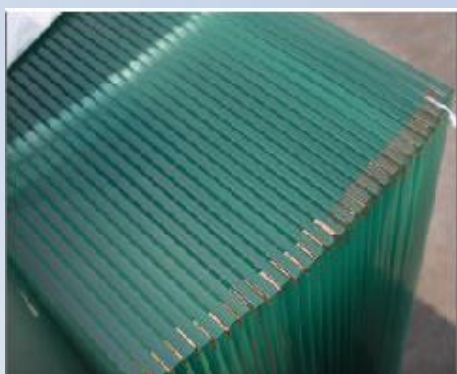
الزجاج المصفح



زجاج الطبقتين



الزجاج المخدش بالحمض



زجاج معالجة الحواف

التطبيقات الانشائية للزجاج

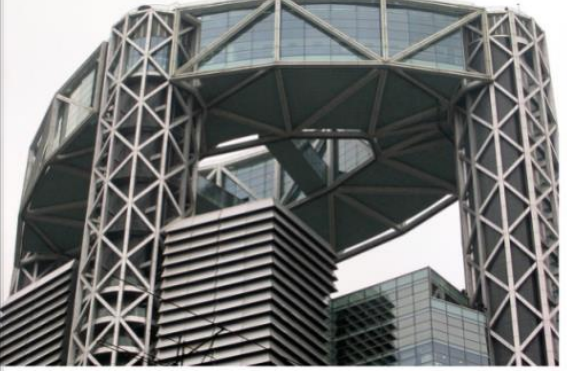
1-الكمرات الزجاجية



glass canopy roofing of a subway station

تتنوع انواع الكمرات الزجاجية وفقا لنوع الزجاج المستخدم وطريقة التثبيت ،فهناك الكمرات بالزجاج العادى او الجاسى او التثبيت باستخدام الكابلات المانعة للاحتكاك. أنواع الكمرات الزجاجية :

1-الكمرات الزجاجية المبردة: كان Mather Rick أول من أستخدم الكمرات الزجاجية الانشائية ، وقد استخدم الدعامة الزجاجية لمقاومة أحمال الرياح ،ووصل طول الكمرات المستخدمة الى 3.8م من زجاج ذو ثلاث طبقات بسمك 10مم .



Samsung JONG Ro

2-الكمرات الزجاجية الجاسئة: ظهر فى مشروع Glass Canopy Roofing of a Subway Station الزجاج الجاسى على تحمل الاحمال بمتانة، وسقف المشروع عبارة عن كابولى بعرض 5.0م وبطول 11م ; وبعد نجاح ذلك صنع كمرات بطول 10م لواجهة ابعادها 50x50م مثل مبنى Samsung JONG Ro

3- الكمرات بوصلات كابلات الاحتكاك: استخدمت فى مشروع the glass reading room of Arab urban على شكل مكعب بأبعاد 8مx8مx8م ولا يوجد به عناصر انشائية داخلية .

2-الاعمدة الزجاجية



local authority offices

الاستخدام الامثل للأعمدة الزجاجية فى السقف الزجاجى للمساحة الداخلية بمشروع the local authority offices حيث ان السقف الزجاجى بأبعاد 24x24م ومثبتة على أعمدة زجاجية متقاطعة الشكل وتتكون من شرائح طبقى بثلاث طبقات من الزجاج الجاسى، عند رأس العمود وقاعدته توجد زوايا معدنية لنقل الاحمال الرأسية والأعمدة المتقاطعة الشكل تحمل أحمال تصل الى 6 طن.

3-الزجاج القابل للسير عليه



صورة توضح زجاج فى الارضيات قابل للسير عليه

يتكون الزجاج القابل للسير عليه من زجاج طبقى بثلاث طبقات زجاج وبطبقتين وسطيتين من PVB Foil ،يجب ان يتوفر فى الزجاج نفس المتطلبات الارضيات العادية ويفرض الحمل 5كيلو نيوتن على المتر المسطح حتى يوفر الأمان الكامل ضد السقوط .

3-1--السلالم الزجاجية



أول استخدام للسلالم الزجاجية استخدم زجاج جاسئ بسمك 25مم مزود بأربع دعائم جانبية كعنصر امان فى حالة حدوث شروخ فى الزجاج فتمنعة من السقوط وفى حالة السلم الكابولى يستخدم زجاج بسمك 19مم .

اشكال تركيب السلالم الزجاجية:

- 1-سلم زجاجى الدائرى (نائمة فقط) مثبت على جانبى السلم.
- 2-سلم زجاجى ذو مخرجين .
- 3- سلم زجاجى مثبت على كمره مركزية وسط السلم.
- 4- سلم زجاجى مثبت من جهة واحدة.

صور توضح السلالم الزجاجية



سلم مثبت منجهة واحدة

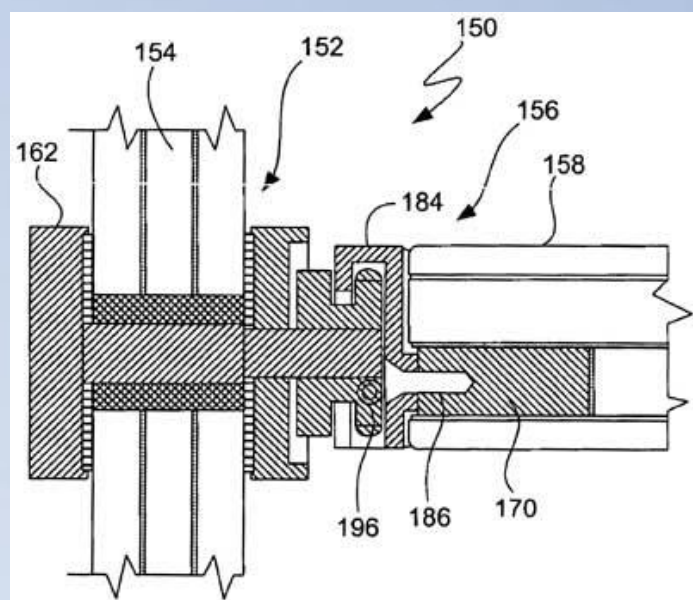
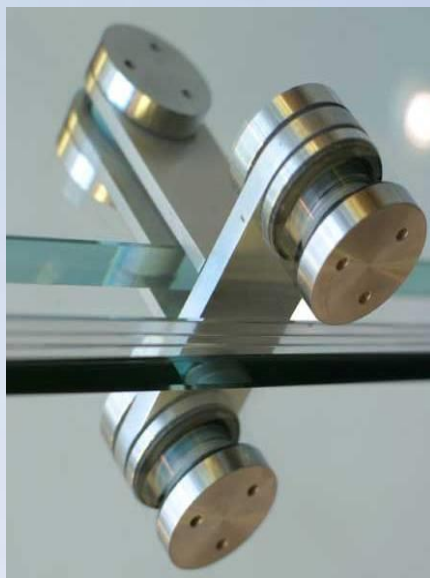
سلم مثبت على كمره مركزية

سلم زجاج حلزونى

سلم مثبت على جانبى السلم

طرق إنشاء السلم الزجاجى :-

- يعتمد على وجود عمود او عمودين من الصلب اسفل النوائم وتكون النوائم محملة عليه ويكون مثبت من ارضية الدور الى ارضية الدور الذى يليه ويمكن تشكيله حسب تصميم السلم .
- ويمكن عمل ايضا لينك زجاجى تكون ارضيته من الزجاج وفكرة الينك هى عمل اعمدة من الصلب بدل من الكوبسته وتركب النوائم فيها.
- وفى حالة وجود حائط بجانب السلم الزجاجى يتم تثبيت النوائم فى الحائط وفى الناحية الخرى فى فخذ السلم باعمدة صلب .
- وفى حالة السلم الدائرى يتم عمل عمود من الصلب ويتم تركيب النوائم فيه وتكون الكوبسته من الصلب ايضا ويتم تركيب الفخذ فيها ويكون من الزجاج ويتم تركيب النوائم من الزجاج ايضا.



صور توضح ربط الزجاج ببعض عن طريق وصلات معدنية

2-3- الارضيات الزجاجية :-



ارضية زجاجية ل احد المباني

استخدام للزجاج فى الارضيات كان فى مشروع The Now and Zen Restaurant ويتكون من طبقتين من الزجاج الجاسئ بسبك 19 مم ومزودة بأربع دعائم جانبية ،ويجب عند استخدام الزجاج التأكد من الامان فى حالة الشروخ.

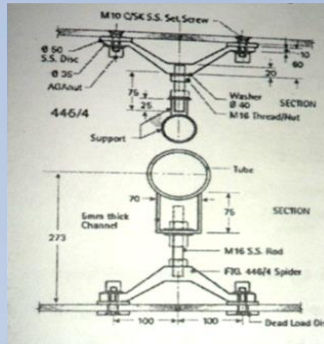
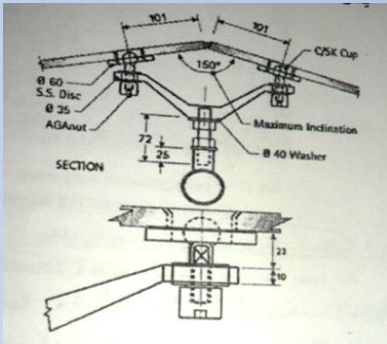
3-3- كبارى المشاه الزجاجية :



صورة ل احد كبارى المشاه

تتكون الكبارى من ألواح زجاجية طبقية مرتبطة مع بعضها بواسطة نقاط تثبيت من ستانلس ستيل وبلاطة أرضية عبارة عن بلاطة من الزجاج الطبقي بسبك 15x2 مم ومركزة على كمرتين من الزجاج بسبك 10x3 مم والحوائط الجانبية والسقف من الزجاج الطبقي (10مم من الزجاج الجاسئ +6مم من الزجاج الحرارى)

5- الاسقف الزجاجية :-



الزجاج الافقى هو المنشأ الزجاجى القادر على تحمل حمل الثنى , ومن أشكال ارتكاز الزجاج الأفقى الارتكاز من جانبيين أو ثلاث أو أربع جوانب بشكل خطيا , ولا يكون مثبت على نقاط تثبيت منفصلة .

الشروط التى يجب توافرها أثناء التنفيذ :

واجهه زجاجية مثبتة بالكابلات

- 1- استخدام زجاج طبقى آمن ببحر 1.2 م على الأكثر ومثبت من الأربعة جوانب.
- 2- عند استخدام الألواح الزجاجية فى الأماكن التى تتعرض لسحب الرياح ويكون التثبيت بشكل نقطى فقط ولا يصلح معها الارتكاز الخطى
- 3- لايزيد البحر عن 0.7 م عند استخدام الزجاج ذو الأسلاك.
- 4- لا يقل سمك طبقات تثبيت الاسقف من اسفل ومن اعلى.
- 5- يجب استخدام الزجاج الآمن ذو شبكة داخلية لنقاط التحميل للزجاج الأفقى (الاسقف) والزجاج الطبقي السابق الإجهاد , ولا يسمح باستخدام الزجاج الامن فقط , وعند استخدام المسامير فى نقاط التثبيت فالزجاج المثقوب يجب أن يكون زجاج سابق الإجهاد .

الاسقف الزجاجية الفردية :

قام المعمارين R.G.Richards ,

Antenna Design بإنجلترا عام 1994 ببناء جناح مدخل مشروع Broadfeld House glass museum , kingwin بطول 11 م وعرض 5.7 م وارتفاع 3.5 م , وتكونت أنصاف الإطارات للهيكل والكمرات الزجاجية التى بارتفاع 30 سم من دعائم من الزجاج الطبقي تكون متصلة بالاعمدة الزجاجية بعمق 28 سم عن طريق وصلات نقر ولسان ومثبتة فى الموقع بصمغ أو لاصق مصبوب .



الاسقف الزجاجية وانواعها

الاسقف المزدوجة :

تستخدم الاسقف الانشائية المزدوجة الطبقات غالبا لأسقف المتاحف لتعطي إضاءة طبيعية للأعمال الفنية والحماية ضد التقلبات الجوية والرطوبة ودرجة الحرارة

وقد استخدم ذلك في مشروع متحف Foudation Beyler على يد المعماري رينز بيانو في عام 1997 فنجد ان السقف الزجاجي يشبه في شكله سقف التظليل حيث تبرز للخارج اربعة حوائط طولية ومتوازية

أسقف على شبك من الكابلات :

مثل مشروع Norddeutsche Landesbank للمعماري Pysall, stahrenberg & partners, والهيكل الانشائي الحامل للسقف عبارة عن شبكة من كابلات ستاليس ويتم تثبيت الزجاج بها.

الأسقف من الزجاج المائل :

هو زجاج مائل بأكثر من 15 درجة على الراسي ويستخدم زجاج من الدرجة الاولى ليستطيع مقاومة الاحمال المؤثرة عليه و من طرق تثبيت الزجاج الأفقى :1- يثبت الزجاج على الحافة الطولية للوح بواسطة زوايا من الالمونيوم وقضبان من ستانلس ستيل لتربط الزوايا الامامية بالمبنى

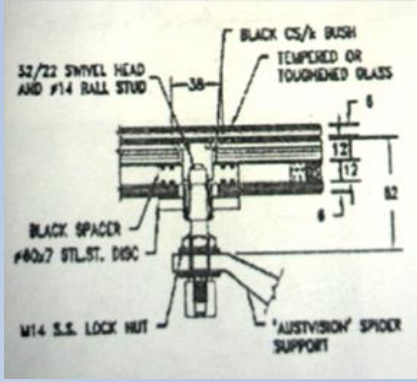
2- يثبت الزجاج على أذرع من ستانلس ستيل أو من الزجاج بواسطة أربع مسامير تثبيت

3- يتم ربط الزجاج بالمبنى بواسطة أربع مسامير تثبيت لتقوم بتدعيم القضبان المعدنية والاذرع

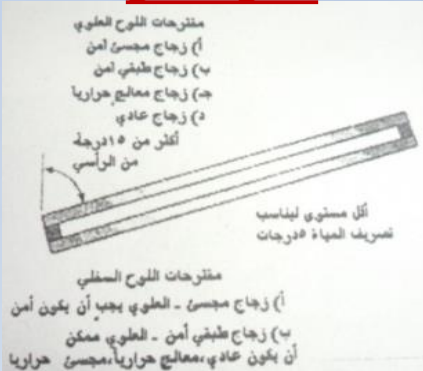
4- الواجهات الزجاجية :

طغت الواجهات الزجاجية بشكل كبير على التصميمات الحديثة وأصبحت عنصرا أساسيا في المباني يلجأ إليها المصممون حيث انها تعطي الفرصة لإنشاء واجهة قيمة وأنيقة للمباني الإدارية والسكنية وغيرها غير ان استخدام الزجاج يسمح بحرية خلاقية في التصميم, مع السماح لأكبر كمية من الضوء للوصول لداخل المبنى وإضافة لجمالها فهي عنصر إنشائي هام يجب إعطاؤه كما كبيرا من الجهد لتصميمه. سواء من خلال الحسابات الخاصة بالأحمال والتي بناء عليها يتم اختيار القطاعات المناسبة أو دراسة شئى إكسوارات النظام ومدى ملائمتها لمقاومة مجموعة من المؤثرات المهمة التي تتعرض لها المباني .

الاسقف الزجاجية وانواعها



كيفية وضع المسمار الغاطس في الزجاج المزدوج



انواع الزجاج المختلفة التي من الممكن استخدامها في الزجاج المائل



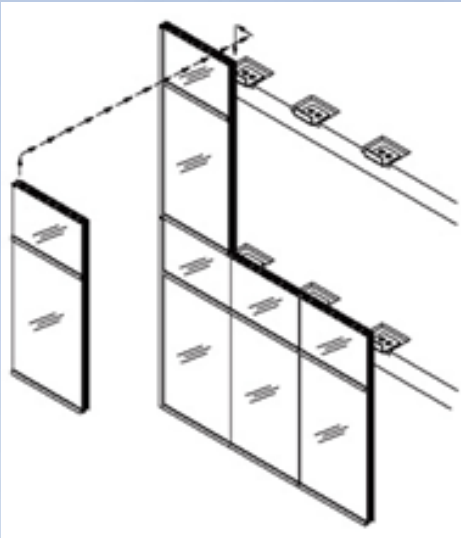
مثال لواجهة كاملة بالزجاج

اشكال وانواع الحوائط الستائريه

هناك العديد من الأنظمة المتاحة في هذا العنصر وذلك علي حسب طبيعة المبنى وشكله الهندسي وملائمة كل نظام من هذه الأنظمة معه و نذكر منها علي سبيل المثال لا الحصر:-

- Panellised curtain wall
- Unitised curtain wall
- Stick system curtain wall
- Rainscreen
- Bolted glass assemblies - Spider system -

1-Panellised curtain wall



صور توضح تكوين نظام Panellised curtain wall

وفيه يمكن أن يصمم الحائط من لوحات كبيرة يتم تصنيعها خارج الموقع في المصانع في الغالب ويكون كل منها له عرض يحدد طبقاً لعرض الهيكل الرأسى - Mullions - وارتفاع يصل الى ارتفاع طابق بالكامل للعناصر الأفقية - Transom -، ويمكن أن يصل وزن القطعة منها إلى 15 طن علي حسب نوع المادة المغلفة للمبنى المستخدمة سواء كانت حجر او زجاج ،هذه الوحدات الضخمة يمكن أن تتركب بسهولة مع بعضها البعض كما يمكن أيضاً استبدالها بسهولة في حالة كسرها ،وتحتاج بالطبع هذه القطع إلى أوناش كبيرة ومثبتات لرفعها ،وتركيبتها يتم عن طريق الفنيين يدويًا ويجب الاهتمام بالفواصل بين الوحدات حيث يتم ملئ الفراغات بما يسمى الاختتام التي يتم عملها بمادة السيليكون عـادة.

2-Unitised curtain wall

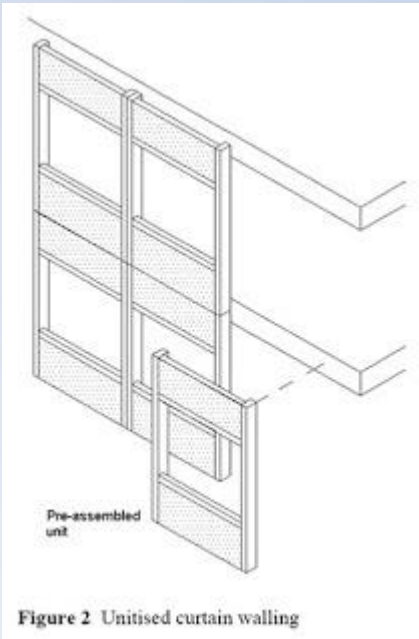
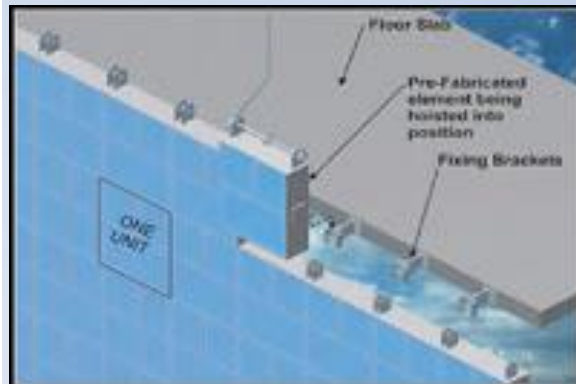


Figure 2 Unitised curtain walling



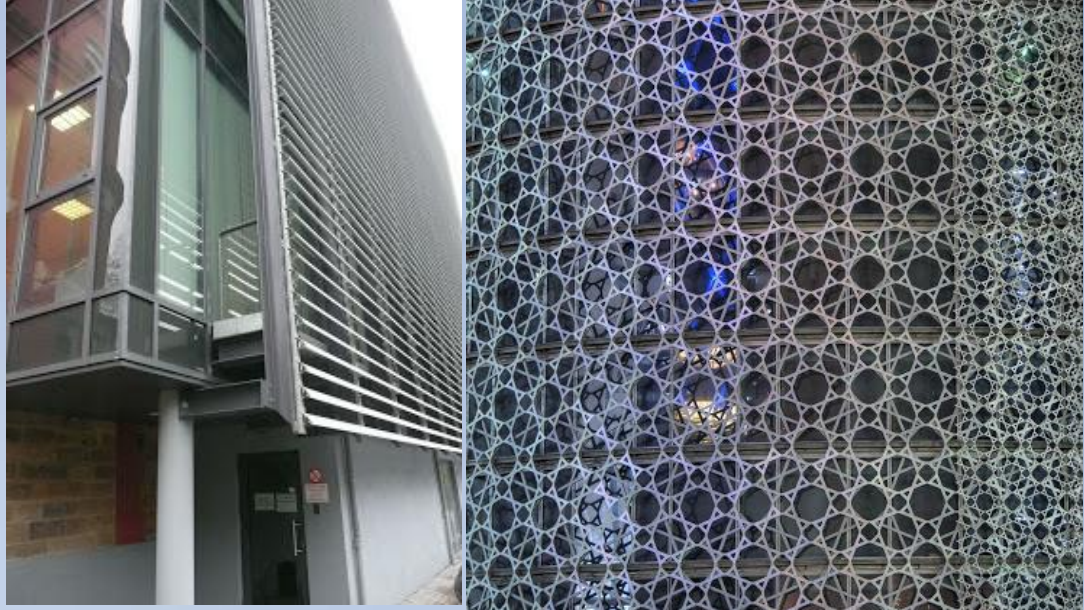
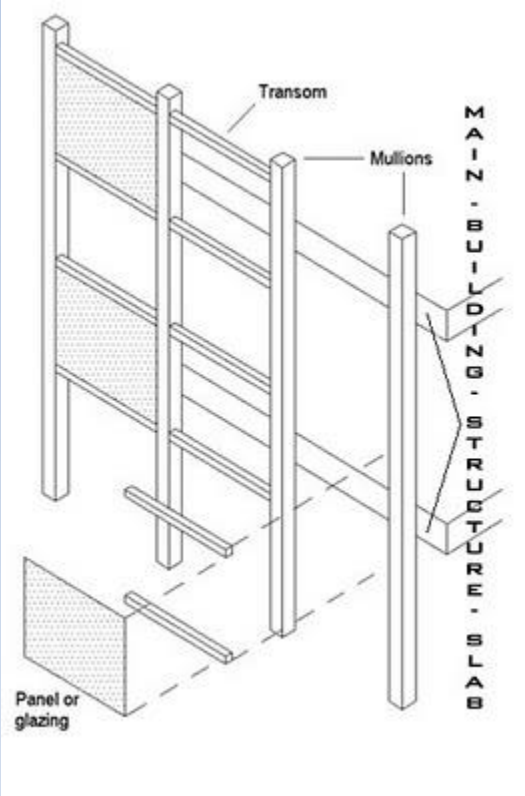
صور توضح تركيب نظام Unitised curtain wall

صور توضح شكل نظام Unitised curtain wall

اشكال وانواع الحوائط الستائريه

3-Stick system curtain wall

وفي هذا النظام يتكون الحائط من مجموعة من العناصر الرأسية - Mullions والأفقية - Transoms ويتم تركيبهم جميعا في الموقع ومن ثم يتكون موديول ثابت للحائط يتم ملئه بالمادة المطلوبة حيث الزجاج أو الألومنيوم أو الحجر أو أي مادة كانت تلائم النظام بحيث يكون الاتصال عن طريق شبك هذه الوحدات بالهيكل الرئيسي سواء ، عن طريق الضغط أو عن طريق المسامير ويتم في كلتا الحالات الختم علي الفراغات بينها بمادة السيليكون كعملية إنهاء للواجهة. ويعمل هذا النظام علي فتح المجال أمام التصميمات المختلفة الحرة وفيه يمكن اضافة اكسسوارات للمبنى - Architecture features مثل الستائر والتشكيلات أمام الواجهات الزجاجية - Blinds - Brise Soleil & بسهولة وحرية أكثر من مثيلاتها من الأنظمة.



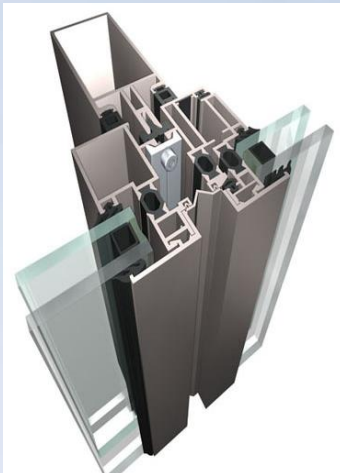
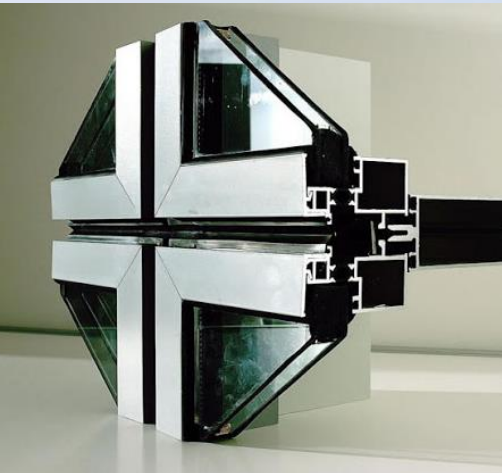
صور توضح شكل نظام Stick system curtain wall

صور توضح امكانيه عمل ستائر امام الواجهات الزجاجيه

a) Bimodular curtain walling system

انواعه:

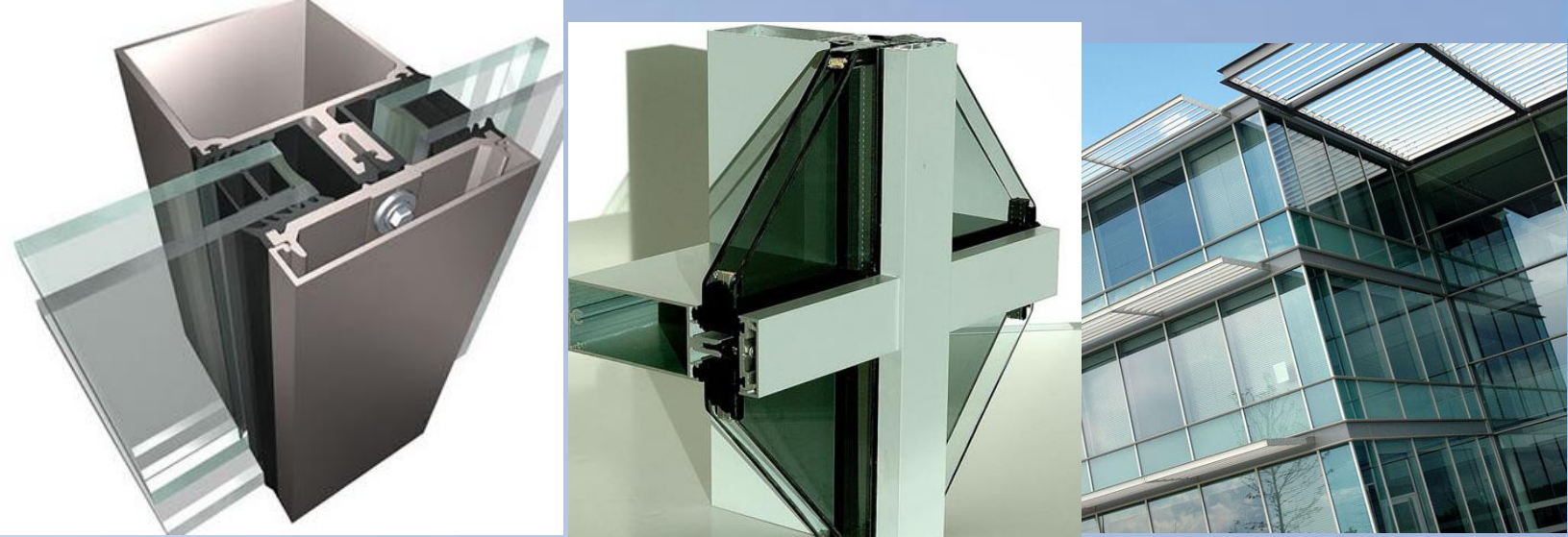
وهنا تجمع الوحدات المكونة للحائط الستائري - Panels وتركب علي الهيكل ولكن تكون فواصل التجميع واضحة وظاهرة في الواجهة مما يؤدي إلي خلق خطوط أفقية ورأسية للواجهة وتكون هذه الخطوط في المستوى الأقل من مستوى الزجاج وتجمع بمادة السيليكون لملئ الفراغات بين الوحدات كما هو موضح في الصور.



اشكال وانواع الحوائط الستائريه

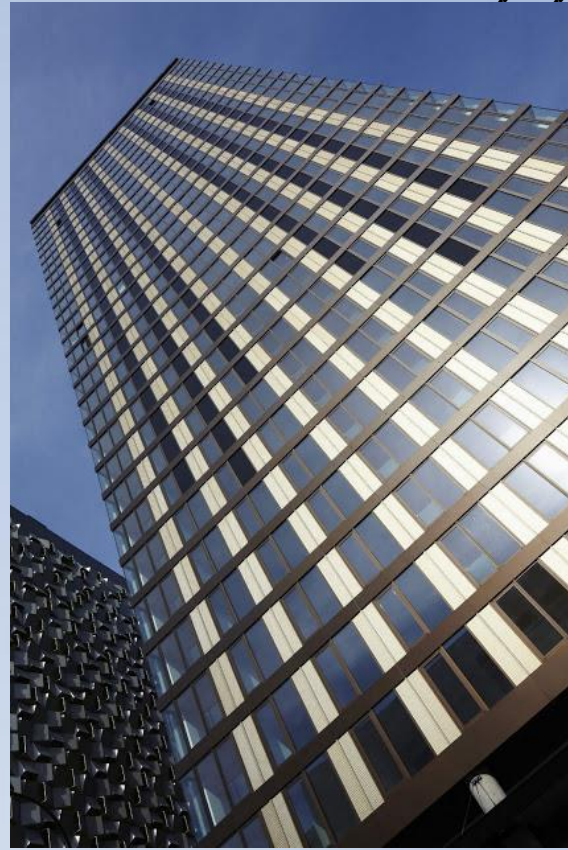
B- Capped curtain walling system

وهنا أيضاً تجمع الوحدات المكونة للحائط الستائري - Panels وتركب علي الهيكل وتكون أيضاً فواصل التجميع واضحة وظاهرة في الواجهة مما يؤدي إلي خلق خطوط أفقية ورأسية للواجهة وتكون هذه الخطوط في هذه الحالة في المستوى الأعلى من مستوى الزجاج نتيجة لتغطية فواصل التجميع بقطاعات ألومنيوم كما هو موضح في الصور.



صور توضح قطاعات نظام Capped curtain walling system

وغالباً ما تكون هذه الطريقة أكثر غلاءً من الأخرى بسبب زيادة استخدام الألومنيوم في تغطية فواصل التجميع في حين استخدم السيليكون فقط في تجميع الوحدات في النظام السابق. هذا وبالطبع السبب الرئيسي في تعدد مثل تلك الأنظمة هو المهندس المعماري والتصميم الذي يريده في الواجهات.



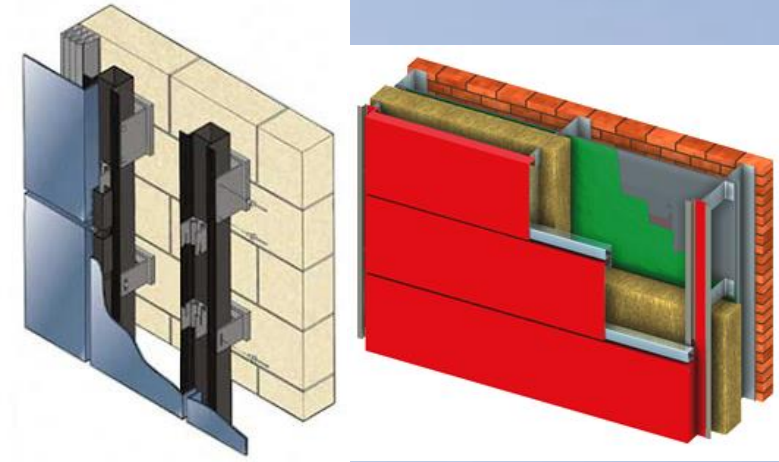
صور توضح شكل نظام Capped curtain walling system

ويعتبر نظام الـ Stick system هو النظام التقليدي لإنشاء الحوائط الستائرية وتدرج تحته أكثر من نوع أو بالمعني الأوضح هو النظام الذي استخدم في ايجاد باقي الطرق التي سدرجها تبعاً لقائمة أنظمة الهياكل المذكورة سلفاً.

اشكال وانواع الحوائط الستائريه

4-Rainscreen system

يتبع هذا النظام أو ينسرد كنوع من أنواع نظام الـ Stick system ويكون فيه الوحدات الجاهزة - Panels تصنع وتركب بحيث يكون بين كل منها تجويف هوائي وحاجز هوائي داخلي بينها وبين المنشأ حيث أن الفكرة الرئيسية هو توازن ضغط الهواء بين الداخل والخارج وهذا التوازن يمنع تسلل المياه من الخارج الى الداخل في حال من الاحوال ، وهذا النظام يستخدم لتركيب الحوائط الستائرية علي حوائط مبنية أصلاً من الطوب أو أي مادة وغالباً ما تكون المادة المستخدمة في التجليد هنا هي الألومنيوم أو أي مادة أخرى.



صور توضح نظام RAINSCREEN

5-Bolted glass assemblies - Spider system -

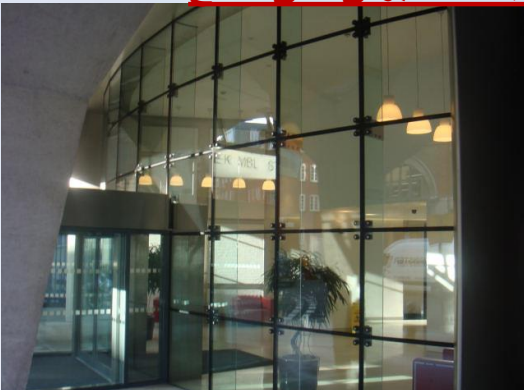
وفيه يتم تركيب ألواح من الزجاج وربطها مباشرة بمسامير في الهيكل الأساسي أو تجميع عدد أربع لوحات من الزجاج وربطها بمسامير في وحدة تجميع ومن ثم تربط هذه الوحدة بالهيكل المعدني للحائط ،تتطلب هذا النظام دقة عالية جدا في التركيب والتصنيع. وهذه النظام له العديد من المسميات أيضاً التي تختلف طبقاً لاختلاف المصنعين ولكن ينفرد هذا النظام بأن الهيكل الخاص به يكون رفيع بحيث لا يمكن الاحساس به مثل الأنظمة السابقة كلها مما يتيح فرصة أكبر للشفافية ويستخدم غالباً في المحال التجارية والمباني التي تتطلب الشفافية بين الداخل والخارج.

ومن انواعه :

1- محمول بواسطة سلاح من الزجاج



شكل التثبيت العنكبوتي على سلاح



شكل التثبيت العنكبوتي المحمول ع سلاح في الواجهات

تطبيقات الزجاج الانشائي والمعماريه

اشكال وانواع الحوائط الستائريه

2- محمول ع ماسورة من الاستانلس



اشكال الاسبايدر واختلاف عدد نقط التثبيت



شكل التثبيت العنكبوتى المحمول ع ماسورة فى الواجهات

طرق تجميع وتثبيت الالواح الزجاجية

اولا : اللصق بالسيليكون structural sealant glazing



وضع مادة السيليكون تمهيدا لتركيب الزجاج

-هي مادة لاصقة مانعة للرطوبة و بها يمكن لصق الواح الزجاج من ناحية واحدة حتي اربع نواحي .
- عند اللصق بالسليكون فهو يتعرض لحمل وزن الزجاج بالإضافة إلي حمل مقاومة الرياح و امتصاص الاهتزازات .



الالواح المثبتة بالسليكون

تطبيقات الزجاج الانشائي والمعماريه

ثانيا: التثبيت الميكانيكي و له نوعان:

أ- (التثبيت النقطي) **point holder**: وذلك بواسطة المسامير
الركنية

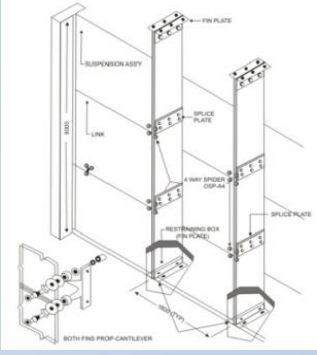
ب- التثبيت بالطريقة العنكبوتية **spider systems** :

ومن مميزات النظام العنكبوتي:



- القدرة علي مواجهة الأعاصير و الزلازل و الاهتزازات بشكل عام.
- يعطي سطح املس تماما و غير معاق .uninterrupted
- يمكن استخدامها كوحدات زجاج مفرغة او مزدوجة .
- يمكن استخدامها دون ثقب الزجاج الخارجي مع الزجاج متعدد الطبقات و بالتالي الحفاظ علي شكل الواجهة.

تنوعت الطرق الانشائية لتثبيت الزجاج و فيما يلي ابرز الطرق:



1- الدعامات الزجاجية : تمتاز بالشفافية و الخفة و الاستعمال الاساسي لها كدعامات للرياح wind bracing, نتج عن استخدامها كنقاط دعامية و او كمرات رأسية ومن اهم مميزاتا إعطاء الشفافية و النقاء في الواجهة

2- الدعامات الرأسية **vertical carriers**:

عند زيادة البحر الأفقي للواجهة الزجاجية ينقل الحمل إلي الاتجاه الرأسي.

3- الدعامات الأفقية :

إذا كان البحر الأفقي للواجهة اكبر من اللوح الزجاجي نفسه فلا بد من تقسيمه, ولا يتم الحمل علي العوارض الأفقية أو الكمرات الأفقية بل علي حوامل أفقية .

4- الشبكات الزجاجية :

تتكون الشبكة الرئيسية التي تؤدي وظيفة التحميل الرئيسية من كابلات الصلب التي تحمل شبكة زجاجية ولا تحمل اي وظيفة اساسية في التحميل ,بينما تكون وظيفة الزجاج الاساسية في تغطية الفراغ بالكامل .- عند تغطية الشبكة المعدنية بوحدات زجاجية فأن كل لوح زجاجي يتم استخدامه يكون لة شكل مختلف , و لذا يلزم استخدام اجهزة الحاسبات في تصميم هذه الوحدات.

5- الحوائط الزجاجية ذات الشبكات أو الحبال :

هي حالة خاصة من الشبكات الزجاجية و يطلق عليها الحبال المستوية او شبكة الكابلات الحائطية ,و تخص عناصر التحميل المستوية , ولديها القدرة علي تحمل الاحمال العمودية علي مستوي وحدة التحميل و يتم معالجة الألواح الزجاجية عند اتصالها بالشبكة بنقاط تثبيت مفصلية عند عقد الشبكة.

تطبيقات الزجاج الانشائية والمعمارية

الدعامات الزجاجية و طريقة تركيبها



المبنى الاوليمبي بمدينة ميونيخ

شكل التثبيت بالكابلات



واجهه زجاجية مثبتة بالكابلات

امثله على الحوائط الستائريه

1-Sony centre

- Architect: Murphy Jahn
- Location: Berlin, Germany
- Project Area: 1,670,000 sqf
- Project Year: 2000



لقطة خارجية للمشروع

• استخدام الزجاج فى الواجهات :

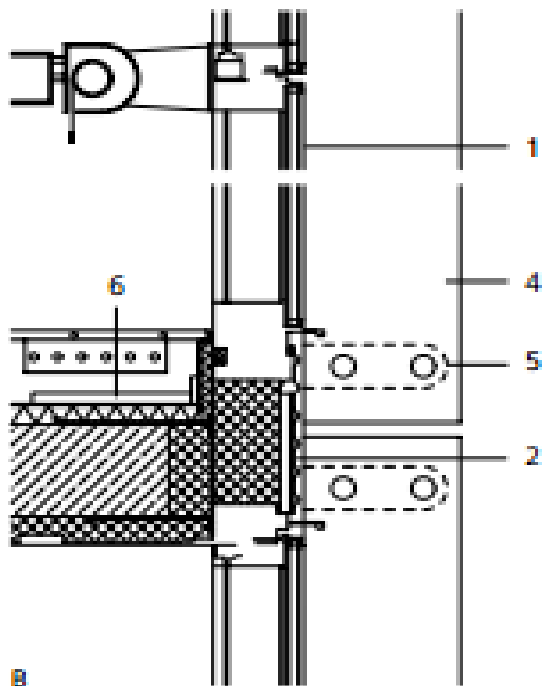
- الواجهة من الزجاج المزدوج والمسافة بين السطح الداخلى والسطح الخارجى 15 مم .
- وجود الواح صغيرة من الفولاذ المقاوم للصدأ للفصل بين الطوابق
- الوصلات الصلب المثبتة وصلات انشائية بين الزجاج و الأطارات الحاملة للواجهة .
- تم تركيب وحدات الواجهة بحيث تفتح و تغلق و يمكن ان تميل للتهوية و التحكم في الدخان عند الحرائق في الفراغات المقابلة.

وجود نوعان من تثبيت الزجاج مع الواح الفولاذ (steel) على الواجهة :

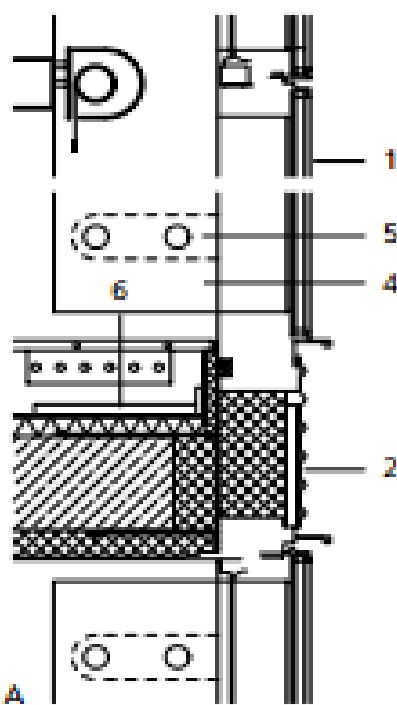
ففى حالة السطح المستوى فتثبت وحدات الزجاج من الداخل اما فى حالة السطح الدائرى تثبت وحدات الزجاج من الخارج



لقطة لواجهة مبنى فى المشروع



قطاع فى الالواح الخارجية للزجاج



قطاع فى الالواح الداخلية للزجاج

- 1- زجاج عازل للأشعة الشمسية
- 2- لوح الفولاذ (steel) سمك 1.5 مم
- 3- لوح الفولاذ (steel) سمك 2 مم
- 4- الواح زجاج
- 5- شريحة أو لوح الفولاذ المثبت
- 6- اتصال الأرضية بالواجهة .

الالواح الفولاذية او steel:

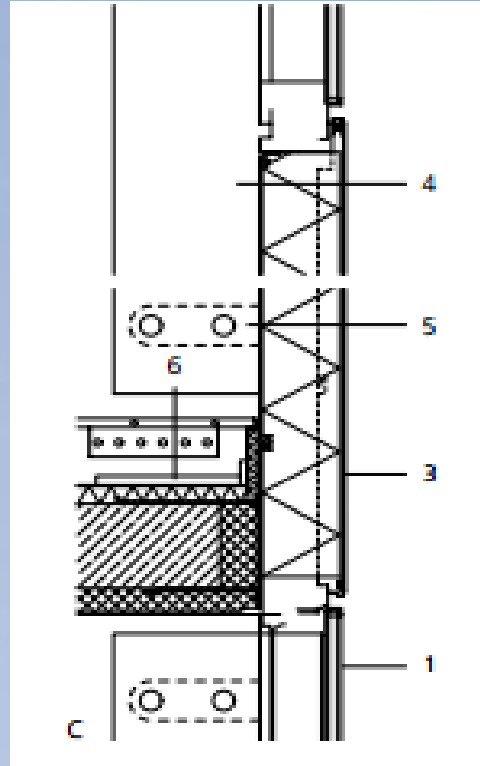
- هي شرائح من المعدن غير قابل للصدى
- هي متراصة لتحديد المستويات (الادوار)
- سمكها 2مم ومثبتة على الاسطح الخارجية للواجهة
- يوجد منها نماذج مربعة 30مم x 30مم
- المفاصل مثبتة على ارتفاعات 1094 مم
- اسطحها لامعة



الالواح الفولاذية او steel



- 1- زجاج عازل للأشعة الشمسية
- 2- لوح الفولاذ (steel) سمك 1.5 مم
- 3- لوح الفولاذ (steel) سمك 2 مم
- 4- الواح زجاج
- 5- شريحة او لوح الفولاذ المشيت
- 6- اتصال الارضية بالواجهة .



قطاع فى الواح الفولاذ (steel)

لقطة لمبنى يوضح فيه الالواح الفولاذية والالواح الزجاجية

الواح الزجاج الافقى توضع فى الداخل لحماية هيكل الواجهة من مقاومة ضغط الدعامات الفولاذية وقبضان الشد



صورة توضح الالواح الزجاجية الافقية



لقطة خارجية لواجهة مبنى يوضح الواح الزجاج وتثبيتته



تثبيت الزجاج في الواجهة



السقف مائل ومصنوع من القماش الصلب والزجاج الشفاف
وينتج تأثيرات ضوئية مثيرة للاهتمام



صورة توضح الشفافية في المبنى



2-مشروع مبنى إداري (بوسكو)

POSCO PROJECT

- Architect: Murphy Jahn
- Location: Berlin, Germany
- Project Area: 1,670,000 sqf
- Project Year: 2000

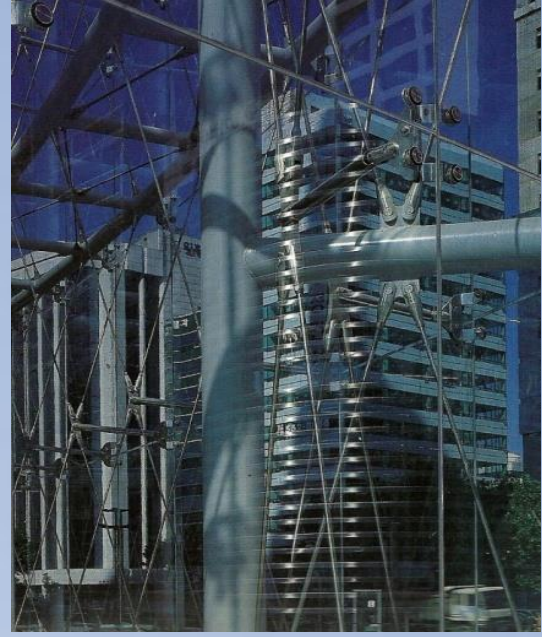
• تحول دور الأبواب و الفتحات من مجرد التهوية إلى جعل المبنى زجاجيا بالكامل , بالرغم ان استخدام الزجاج كسقف او واجهة يقابلة عوائق ناتجة من خصائص الزجاج الطبيعية و أهمها محدودية أقصى مساحة للألواح و بالتالي الإطار. • في هذا المشروع تم استخدام نظام S.P.G الذي يتيح عما واجهة و سقف من ألواح الزجاج باستخدام الحديد الصلب في أنظمة إنشائية.



منظور خارجي لكتلة المشروع يوضح استخدام الزجاج في الواجهات



العوارض الأفقية و الرأسية تحمل الواجهة



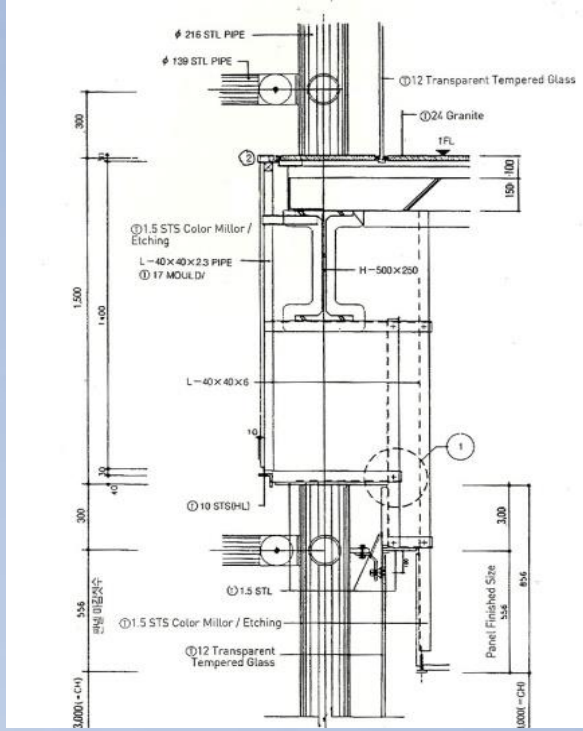
لقطة توضح الزجاج الخارجي وطريقة تثبيته وهي التثبيت العنكبوتي



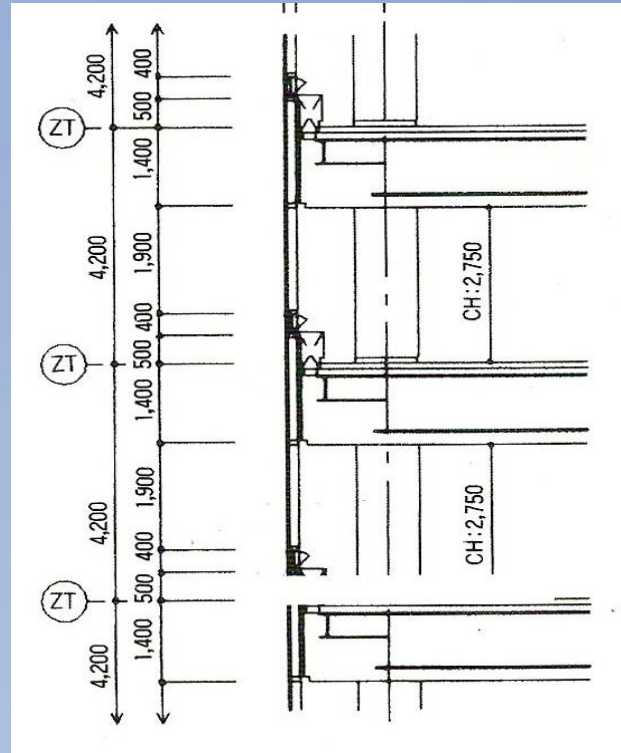
اما في الأسقف : تم استخدام جمالونات لإنشاء سقف مستوي و تثبيت الألواح بالنظام العنكبوتي spider system و بالتالي إنشاء سطح أفقي أملس. شكل السقف حيث ألواح الزجاج مرفوعة علي جمالون و مثبتة بالنظام العنكبوتي

الهدف الذي تم تحقيقه من استخدام الزجاج :

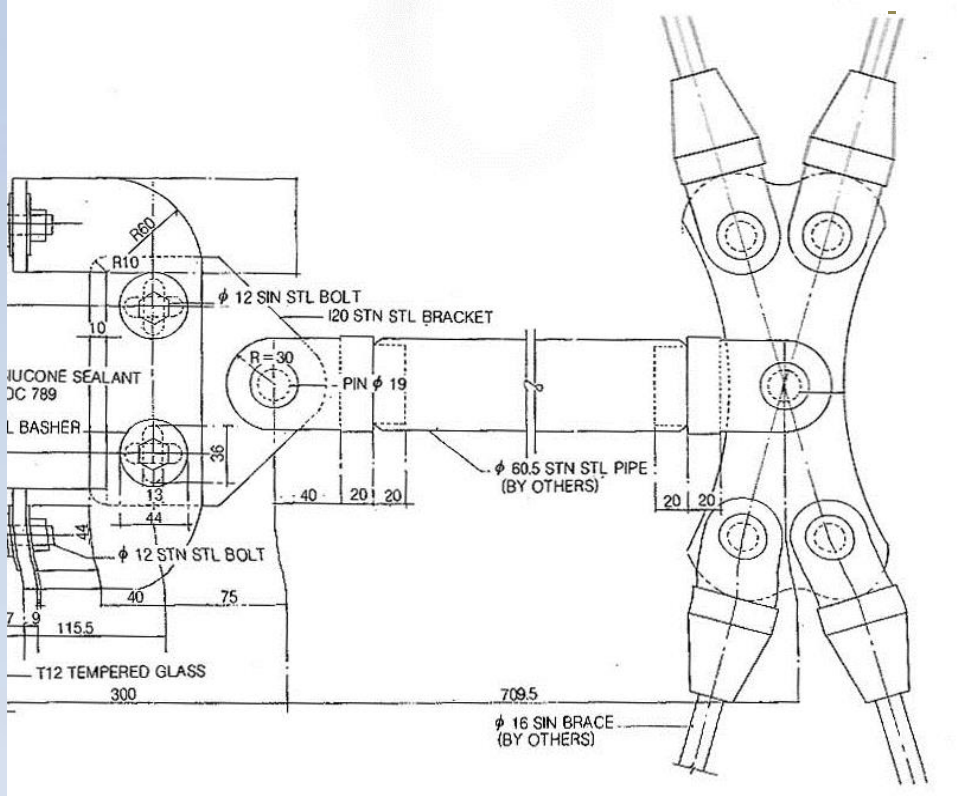
كان الهدف الرئيسي تحقيق الشفافية الكاملة للمبنى و التي تتيح أيضا إدخال اقصي كم ممكن من الإضاءة الطبيعية .



تفصيلة توضح تثبيت الألواح
الزجاجية في السقف



تفصيلة توضح تركيب الواجهة في بلاطات
المبنى



تفصيلة توضح النظام العنكبوتي المستخدم في التثبيت
الخاص بالواجهات

3-Combined secondary schools , vienna



الشكل الخارجي للمبنى و هو بالكامل من الزجاج

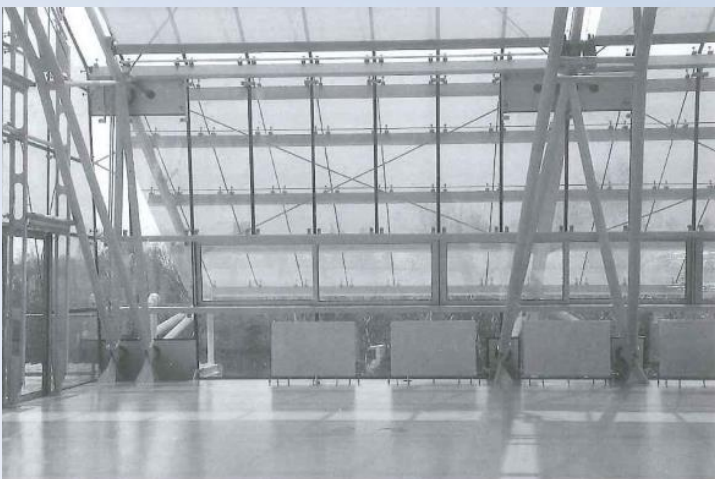
اعتمد بناء هذا المبنى بشكل خاص على الزجاج ، حيث الاستفادة القصوى من ضوء النهار حيث نجد الزجاج هو الكسوة للحوائط الخارجية و ايضا هو الفاصل بين الفراغات داخل المبنى و سقف المبنى .



تفاصيل الزجاج لتغطية فناء الاستقبال

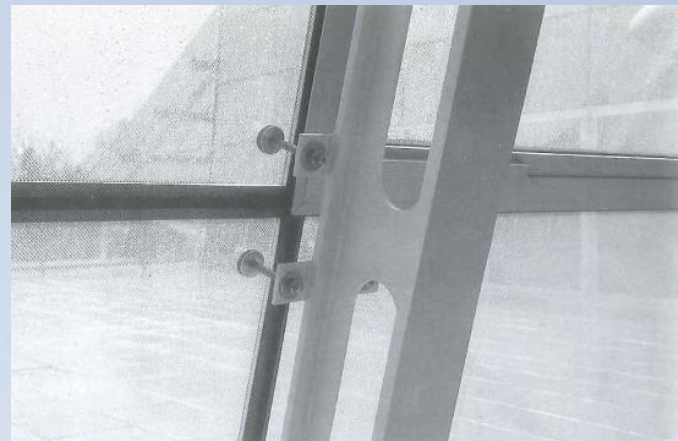


اشكال توضح ترابط البلوكات الزجاجية من داخل الفراغ



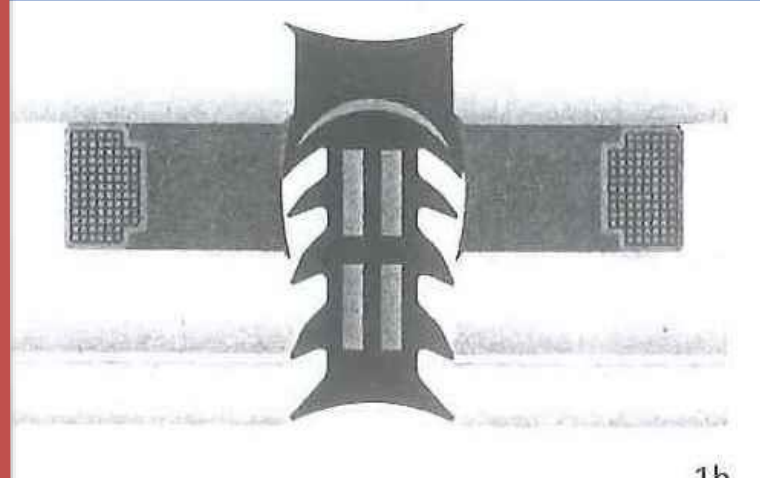
توضيح تسقيف و واجهة قلعة الاستقبال المظلة على اماكن انتظار السيارات

التفاصيل الانشائية و النظام المستخدم فيها :
استخدم نظام انشائي و هو (litewall system) و هي عبارة تحقيق التناغم بين الاحوائط و الاسقف الزجاجية مع بعضهم البعض مع ادنى استخدام للنظم الانشائية . استخدم زجاج خارجي حافظ للحراره و الطاقه ، و تم تشديد سلامة الزجاج ليصل سمكة الى 8mm و تجويف 12mm ، و الجزء الداخلي منه يصل سمكة الى 16mm ، و المطبوع بنمط من النقط البيضاء و كثافة التغطية تصل الى 30% .



تفصيلة توضح تغطية ساحة الاستقبالو النظام الانشائي المستخدم و هو (litewall-iso-sysetm)

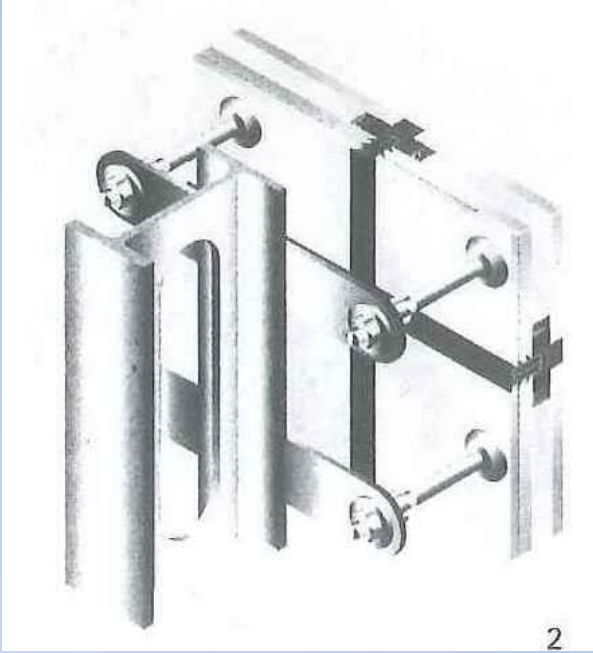
تطبيقات الزجاج الانشائية والمعماريه



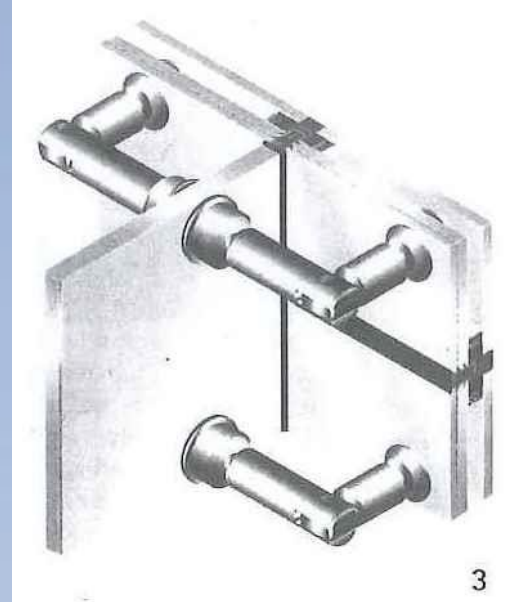
1b
قطاع عرضي يمر من خلال وصلة التثبيت و اولواح الزجاج



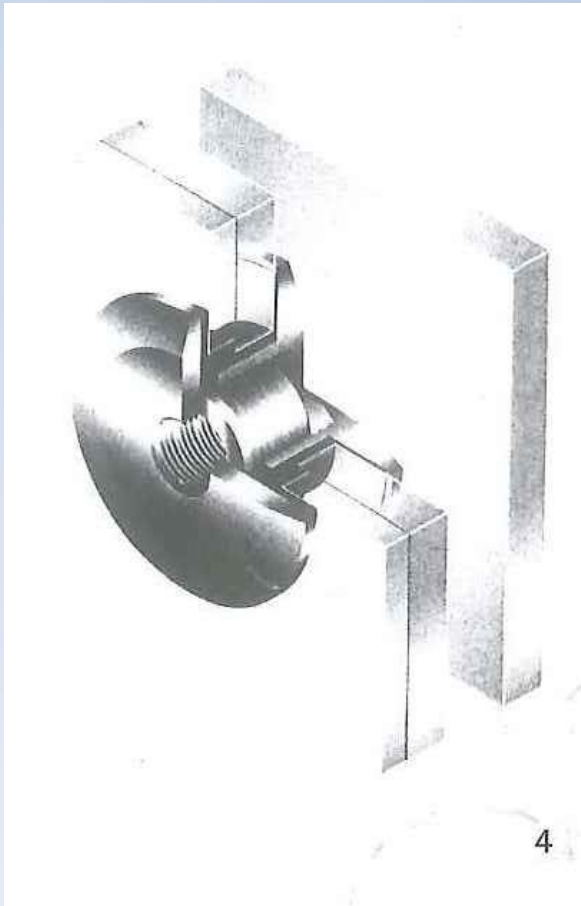
قاعة الأنشطة الرياضية التى يتكون سقفها من الزجاج



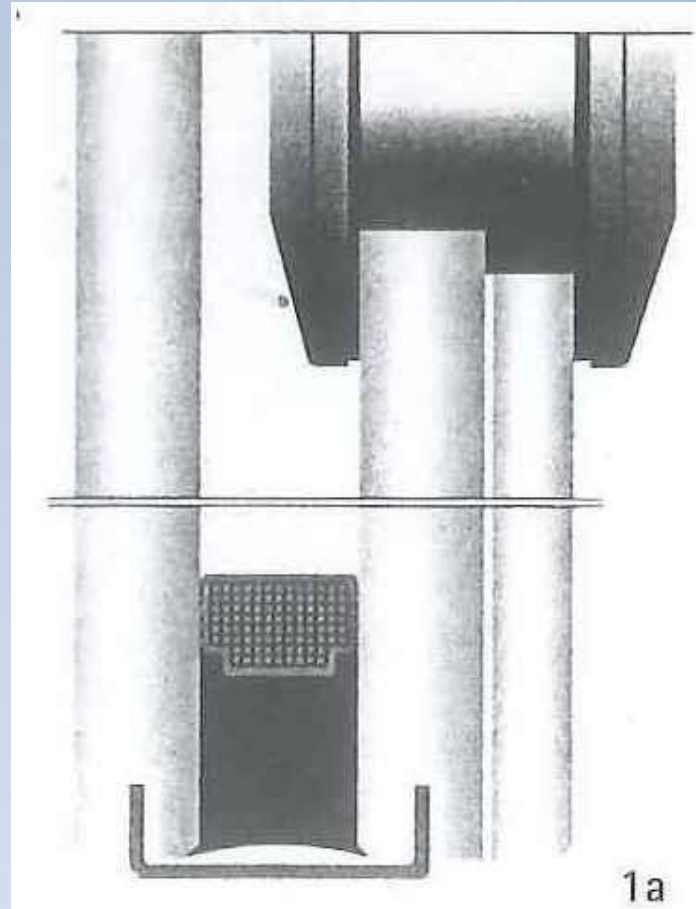
2
منظور يوضح التثبيت الفردي مع
عمود حرف I



3
منظور يوضح علاقة الحوائط الخارجية من الزجاج
بالفواصل الزجاجية الداخلية من خلال ازرع مفصلية



4
منظور توضيحي لتفصيلا ال (LITEWALL-ISO)
حيث التثبيت يكون على الزجاج الداخلى و بذلك يترك
الزجاج الخارجى امس



1a
قطاع طولى خلال وحدة زجاجية يوضح تاثير التثبيت على الوحدة
الزجاجية الداخلية فقط