الباب الأول

الزجاج

الزجاج مادة صلبة غير عضوية، عادة ما تكون شفافة أو نصف شفافة، صلبة، سهلة الإنكسار، غير نافذة للمواد الطبيعية ورغم أنه استعمل منذ القدم إلا أنه لا يزال مهم جداً في استعمالات شتى، مثل المباني والأدوات والأواني المنزلية ومعدات الاتصالات السلكية وتختلف أنواع الزجاج اختلافاً شاسعاً باختلاف مكوناتها وخصائصها الفيزيائية وأما أكثر أنواع الزجاج شيوعاً عبر العصور، وخاصة في عصرنا هذا، هو ذاك المستخدم في صناعة النوافذ وأواني الشرب، وهو زجاج صودا الجير، ويتكون من ٧٥%من السيليكا وأكسيد الصوديوم وأكسيد الكالسيوم؛ مع أو بدون إضافات الأخرى.

لمحة تاريخية

من زمن الفراعنة إلى اليوم، فإن الخرز الزجاجي المصري هو أقدم الأجسام الزجاجية التى عثر عليها ويرجع تاريخها إلى حوالي ٢٥٠٠ سنة قبل الميلاد لاحقاً في الحضارة المصرية كذلك صنعت أواني زجاجية بها خطوط ملونة، متوازية مسننة في بعضها وذات طابع ريشي في الآخر.

الرومان :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.

العرب: اعتنى العرب في العصور الوسطى بصناعة الزجاج وتطويره، فقد كانت الزخرفة تنفذ بأساليب مختلفة، منها طريقة الضغط على الأواني وهي لا تزال لينة، وكذلك بطريقة الملقاط، أو بطريقة الإضافة وهي تتم بلصق خيوط من الزجاج على جدران الأواني وهي لينة، أو لصق حامل من الزجاج الذي لا زال ليّنا، وربما يكون ملوناً، وغيرها من الطرق الأخرى ومن آثار صناعة الزجاج عند العرب القدامى، المجموعات المختلفة من القرن الثاني أو الثالث هجري، التي كانوا يصنعون منها الإبريق الزجاجي المصنوع بالطريقة الرومانية من القرن الثاني الهجري

والبلور زجاج مضافاً إلى خلطته عناصر ثقيلة مثل الكوبلت ويتميز بكثافة عالية ، كما صنع العرب الموازين والصِنَج من الزجاج أيضًا، كما برع العرب في صنع المشكاوات؛ وذلك لإضاءة المساجد والمنازل

وخلافه،منها عدد من المشكاوات المملوكية العصر المموهة بالمينا والمزخرفة بكتابة النسخ وكذلك عليها زخرفة نباتات .

صناعة الزجاج

يمكن تقسيم الزجاج إلى نوعين هما؛ العادي أي زجاج الصودا والجير والسيليكا، والزجاج النوعي، فالزجاج العادي هو الأكثر إنتاجاً ويتكون من الرمل أو السيليكا التي هي أكثر نقاوة من الرمل والجير والصودا والسيليكا المنصهرة وحدها تنتج زجاج ممتاز، لكنها تنصهر عند حوالي ١٧٠٠ درجة مئوية أي أن إنتاج الزجاج بهذه الطريقة مكلف، لذلك فهذه الطريقة تقتصر على إنتاج الزجاج الواجب فيه درجة أفضل من الخمول الكيميائي والقدرة على تحمل الصدمات الحرارية أو في انتاج أغراض البصريات وتستعمل الصخور الكريستالية بدل كوارتز الرمل لإنتاج هذا النوع.

أما في حالة الزجاج العادي فان السليكا أو الرمل يضاف إليها مسهل صهر لتخفيض درجة الحرارة اللازمة لصهر المزيج ،لهذا فان الصودا تستعمل لتسهيل الصهر حيث باضافة ٢٥ بالمئة من الصودا إلى السيليكا تكون درجة انصهار المزيج عند ٨٥٠ درجة مئوية بدل ١٧٠٠ درجة مئوية ،لكن الزجاج الناتج منهما لا يصمد في الماء بل يذوب ولذلك

يسمى زجاج الماء، وهنا يكمن دور إضافة الجير، فبإضافة الجير إلى مزيج السيليكا والصودا نحصل على زجاج لا يذوب في الماء بينما تكون درجة حرارة صهر المزيج ليست عالية جدا،لكن إضافة كمية كبيرة من الجير تجعل الزجاج الناتج سهل التفتت .

مكونات الزجاج العادي زجاج سيليكا صودا جير:

٧٥ % سيليكا(اكسيد السيليكون)او رمل

١٥ % صودا(كربونات الصوديوم(ملح القلي) او اكسيد الصوديوم) ،او بورق (بوتاس)

١٠ % الجير(حجارة كلسية أي حجارة الجير كربونات الكالسيوم او الجير الغير مطفى :اكسيد الكالسيوم)

بالرغم من هذه الوصفة المتبعة في انتاج الزجاج اليوم إلا أنه يبقى عرضة للتفتت خلال عملية تشكيله.

ولصنع الصفائح الزجاجية فى العادة يستخدم ٦ في المئة من الجير و ٤ في المئة من المغنيسيا (أكسيد المغنيسيوم)، اما لصنع زجاج القوارير يستخدم ٢ في المئة الألومينا (أكسيد الألومنيوم، أو Al_2O_3) غالبا ما تكون موجودة كما يتم إضافة مواد أخرى منها ما يتم وضعه للمساعدة

في تصفية الزجاج أي لإزالة فقاعات نتجت من عملية الذوبان، في حين يتم إضافة غيرها لتحسين لونه على سبيل المثال، الرمل يحتوي دائماً على الحديد كشوائب على الرغم من أن المواد المستخدمة لصنع الزجاجات يتم اختيارها خصيصاً لانخفاض محتوى الحديد فيها، إلا أن بقاء آثار صغيرة من شوائبه يكسب الزجاج اللون الأخضر غير المرغوب فيه؛ لكن باستخدام السيلينيوم مع أكسيد الكوبالت جنباً إلى جنب مع قليل جداً من ثالث أكسيد الزرنيخ ونترات الصوديوم، من الممكن إزالة اللون الأخضر وإنتاج ما يسمى الزجاج الأبيض الزجاج الغير ملون.

أصناف الزجاج مختلفة جداً، وغالباً ما تكون أكثر تكلفة، تركيبات معينة تصنع لتلبي الحاجة لبعض الخصائص الفيزيائية والكيميائية الضرورية على سبيل المثال، في النظارات البصرية، مجموعة واسعة من التركيبات تلزم للحصول على مجموعة متنوعة من معامل الانكسار والتشتت اللازمة وللحصول على زجاج مقاوم للصدمات الحرارية يمكن صهر السليكا وحدها أو كبديل تستبدل الصودا بحمض البوريش في حين يستبدل بعض الجير بالأمونياAlO3 فينتج ما يسمى البورو سلسيكات أما للحصول على زجاج ذو بريق شديد كالذي يستعمل في أواني الطاولة فيستعمل أكسيد الرصاص كمسهل صهر للسيليكا.

تشكيل الزجاج

تتضمن العمليات الأولى لتشكيل الزجاج: صب لوح من الزجاج ثم درفلته وصقله، أو نفخ كرة من الزجاج، ثم تدويرها في حركة مغزلية على طرف قضيب مع اسنادها على سطح أملس بارد حتى تتسطح على هيئة قرص أو تأخذ شكل الأسطوانة، وصقله بواسطة اللهب وتنعيم سطحه ولصناعة أكواب فيتم بإدخال كرة الزجاج التي لا زالت منصهرة في قالب وتدويرها فيه فتأخذ شكل القالب ثم تبرد بعد أزالة الطرف يصبح الكوب جاهزاً.

وتحتاج عمليات التزجيج (صناعة الزجاج) القديمة، إلى أطر صغيرة للنوافذ، لتركيب هذا الزجاج (التاجي) أو (النورماندي) عليها، وظل بعضها محتفظاً بعين الثور المميزة في مركزها، كعلامة مختلفة عن استخدام القضيب أما العملية البديلة لإنتاج الزجاج العريض فكانت تعتمد على أرجحة الكرة، حتى تتمدد وتتحول إلى شكل أسطواني، يصل طوله إلى حوالي متر ونصف، بقطر حوالي ٤٥ سم ثم تزال الأطراف وتشق الأسطوانة على طولها، ثم يتم تسطيحها في فرن مناسب.

وظلت الطريقة الأخيرة، مع طريقة أخرى متطورة عنها تعتمد على الميكنة، قيد الاستخدام حتى أوائل القرن العشرين، حين تم التوصل إلى طريقتين أخرتين هامتين:

طريقة فوركو عام ١٩٠٤ وطريقة بتسبرج عام ١٩٢٦ وتعتمد كلتا الطريقتين على سحب شريط من الزجاج رأسياً من فرن الزجاج، عبر فرن تلبيد تلدين بواسطة درافيل من الاسبستوس تدار بالمحركات، تقوم بمسك الشريط من طرفه العلوي بمجرد برودته لدرجة كافية، بعد عدة أقدام أعلى الفرن وتسمح عملية التلدين بتبريد الزجاج ببطء بمعدل محدد، ويعد التبريد ببطء أمراً ضرورياً لتجنب الإجهادات الناشئة عن التبريد السطحي السريع ويتميز الزجاج الناتج بشفافيته، وسطوحه المصقولة الصلبة، مع وجود بعض التشوه أو العيوب.

وكان الحصول على لوح زجاج مصقول فيما سبق من طرق، يتم بدرفلة الزجاج المصهور من الفرن، على هيئة شريط مستمر، ولكن كان يعيب ألواح الزجاج، وجود علامات وندبات على سطحه، نتيجة التلامس بين الزجاج والدرافيل لذلك كان يتحتم إزالة هذه العلامات بالتجليخ والصقل بغرض الحصول على سطحين متوازيين للوح الزجاج لتحقيق الاكتمال البصري (الخواص الضوئية الجيدة) للمنتج النهائي وبالطبع،

يتخلف عادم يقدر بحوالي ٢٠ % من عمليات التجليخ والصقل، كما كان من الصعب في الماضي اخلاء الزجاج من فقاقيع الهواء.

أسلوب الطفو

منذ ظهور عملية الطفو على يد شركة بيلكنجتون البريطانية عام ١٩٥٩ أصبحت الطريقة الأساسية المستخدمة في العالم أجمع لتصنيع الزجاج المسطح، وكان يتعين قبل ذلك، صب أي لوح مسطح من زجاج، ثم درفلته وصقله للتخلص من الاعوجاج وعدم الاستواء.

ويعتمد أسلوب الطفو على تحريش شريط من الزجاج بعرض يصل إلى ٣٣ متراً إلى خارج فرن الصهر، ثم يتم تعويمه على سطح حمام (مغطس) من مصهور القصدير ويحتفظ بالشريط في جو يتم التحكم في تركيبه الكيميائي، عند درجة حرارة مرتفعة، لمدة زمنية كافية لاستواء المواضع غير المنتظمة، وحتى يصبح السطحين مستويين ومتوازيين ويتميز سطح الزجاج الناتج بالاستواء التام، نتيجة الاستواء المماثل لسطح حمام القصدير المنصهر.

ويجرى تبريد الشريط مع تحريكه عبر حمام القصدير المنصهر، حتى تتصلد السطوح بدرجة كافية لإمرار الشريط، عبر مرحلة التلبيد، دون أن تترك الدرافيل علامات (ندبات) على السطح السفلي للشريط ،ويتميز

الزجاج الناتج بهذه الطريقة بانتظام السمك ولمعان سطوحه، دون حاجة إلى تجليخ أو صقل.

وبعد مرور سبع سنوات من العمل المضني، وبعد ١٤ شهراً من التشغيل غير الناجح لمصنع أقيم بالحجم الصناعي الكامل، وتكلف مائة ألف من الجنيهات الإسترلينية، كل شهر من هذه الشهور، ظهرت أول ألواح زجاج ناجحة، ثم تصنيعها بهذه الطريقة، بثخن ٦ ملم وقد تحدد هذا السمك بطريقة تلقائية، نتيجة القوى الطبيعية المؤثرة على حمام الطفو، وهي ظاهرة حسنة، إذ يحتاج ٥٠% من سوق الزجاج مرتفع الجودة، إلى هذا السمك.

ولكن الاستفادة الكاملة من طريقة الطفو، اقتضت السيطرة والتحكم في سمك الشريط المنتج، وهو أمر أولته شركة بيلكنجتون اهتمامها، إلى أن تمكنت بعد عامين من ظهور هذه الطريقة من إنتاج زجاج بسمك ٣ ملم وتحقق ذلك عن طريق مط الشريط برفق، وبطريقة يتم التحكم فيها، بحيث انتفى وجود أية تشوهات في الألواح الناتجة.

ثم أمكن إنتاج ألواح أكثر سمكاً خلال السنوات الثلاث التالية، عن طريق الحد من الاستطالة التي يتعرض لها الزجاج المصهور في حمام الطفو، حتى تتاح زيادة السمك، ويبلغ مدى السمك المتوافر حالياً من ٤ ملم

حتى ٢٥ ملم من الزجاج المناسب لأغراض البناء، وسمك ٢.٥ ملم لأغراض أخرى.

أنواع الزجاج

يمكن تقسيم الزجاج من حيث تركيبه الكيميائي إلى ثلاثة أنواع: زجاج الصودا والجير: ويشكل ما يزيد عن ٩٠% من الزجاج المستخدم حيث يحتوي على أملاح الصوديوم وكربونات الصوديوم بنسبه عالية.

الزجاج الرصاصي الكريستال: وهو زجاج براق، عالي الكثافة وذو معامل انكسار عالي للضوء، يستخدم في صناعة التحف والإكسسوارات والثريا وكان يستخدم قديماً في حفظ الطعام والشراب ونظراً لتفاعل الرصاص مع المواد الغذائية توقف استخدامه لخطورته علي صحة الإنسان.

الكوارتز (زجاج السيليكا): ويحتوي على السيليكا بنسبه٩٦% مما يجعله يحتاج إلي درجات حرارة عالية لتصنيعه، ويتميز بمقاومة عالية لدرجات الحرارة، مما يجعله مناسبًا لصناعه موازين الحرارة والأفران.

كما يمكن تقسيم الزجاج أيضًا من حيث المعالجة الفيزيائية إلى نوعين:

الزجاج الملدن:

الزجاج المقسى: حيث يسخن إلى درجة حرارة معينة ثم يبرد بشكل سريع عن طريق تعريض سطح الزجاج لتيارات هواء بارد لذا فهو يتميز عن الزجاج الملدن العادي بما يلي:

-*يمكن للزجاج المقسّى تحمل صدمات ميكانيكية أشدّ ممّا يتحمله الزجاج الملوّن العادي بـ ٥ - ٧ مرات وعندما يتكسر الزجاج نتيجة صدمة شديدة، يتحول إلى عدد كبير من الشظايا الصغيرة التي لا تجرح ولا تؤذي أحداً لهذا السبب يسمى هذا الزجاج زجاج أمان مقسّى وخلافاً للزجاج المقسى، فإن الزجاج العادي يتناثر عند تكسره إلى شظايا حادة جارحة بالغة الضرر.

-*كما يمكن للزجاج المقسّى تحمل فرقاً كبيراً بين درجات الحرارة الداخلية والخارجية، تصل إلى ٣٠٠ درجة مئوية، في حين لا تتجاوز هذه الفروق ٧٠ درجة مئوية في الزجاج العادي الملدن، مما يعرضها للكسر مباشرةً.

ومن الطرق الشائعة لتصنيع الزجاج خلط كمية كبيره من الرمل مع كميات قليله من الجير والصودا، ومن ثم تسخينه إلى درجة حرارة عالية تزيد عل ١١٠٠ درجة مئوية، حتى يصبح عجينة سائلة عالية اللزوجه، يتم بعدها تشكيله بطرق آلية أو يدوية، ومن ثم يبرد ليكون زجاجاً.

صناعة الزجاج عند العرب

اعتنى العرب في العصور الوسطى بصناعة الزجاج وطوروهالحاجتهم إلى الأواني الزجاجية التي تستخدم في العطور، والعقاقير، والإنارة، والشرب، وغيرها وكانت الزخرفة تنفذ بأساليب مختلفة منها طريقة الضغط على الأواني وهي لا تزال لينة، وكذلك بطريقة الملقاط، أو بطريقة الإضافة وهي تتم بلصق خيوط من الزجاج على جدران الأواني وهي لينة، أو لصق حامل من الزجاج الذي لا زال ليّنا، وربما يكون ملوناً وغير ذلك من الطرق الأخرى.

ولقد صنع العرب القدامى أنواعاً كثيرة من الأواني الزجاجية؛ الهجري من عصر الدولة العباسية، الهجري .

كما برع المسلمون في صنع المشكاوات؛وذلك لإضاءة المساجد والمنازل وخلافه،منها عدد من المشكاوات المملوكية العصر المموهة بالمينا والمزخرفة بكتابة النسخ وكذلك عليها زخرفة نباتات.