فصل چهارم

شکل‌دهی به روش ذوب و ریخته‌گری

هدف‌های رفتاری در پایان این فصل، از فراگیرنده انتظار می‌رود :

۱ــ نقش و کاربرد روش ذوب و ریخته‌گری را در سرامیک بیان کند و با فلزات مقایسه نماید.

۲ــ دو دلیل محدودیت کاربرد این روش را بیان نماید.

۳ــ روش‌های شکل دادن به قطعات شیشه‌ای توخالی را شرح دهد.

۴ــ روش‌های عمده‌ی شکل دادن به شیشه‌ی جام را توضیح دهد.

۵ــ مزایا و معایب این روش را در دیرگدازها بیان کند.

مقدمه

تاکنون با روش‌های متداول تولید و شکل دادن سرامیک‌ها آشنا شده‌اید. دانستید که روش شکل‌دهی سرامیک‌ها برخلاف فلزات، عموماً بر پایه‌ی ذوب قرار نگرفته است. اما بعضی از محصولات سرامیکی نیز به روش ذوب تهیه می‌شوند که معروف‌ترین آن‌ها شیشه است. مذاب شیشه قابلیت ریخته‌گری ندارد، بلکه به روش‌های خاصی شکل داده می‌شود.

دیرگدازها، دومین محصولاتی هستند که با روش ذوب تهیه می‌شوند. گفتنی است که بخش بزرگی از دیرگدازها به روش پرس تولید می‌شوند. دیرگدازهایی که به روش ذوب و ریخته‌گری تولید می‌شوند، حجم زیادی ندارند ؛ اما در صنایع شیشه، سرامیک و ذوب فلزات از اهمیت زیادی برخوردارند.

بسیاری از بلوک‌های نسوز، که در کوره‌های با دمای بالا به‌کار می‌روند، به خصوص کوره‌هایی که با مذاب سروکار دارند، با روش ذوب و ریخته‌گری تهیه و تولید می‌شوند. تقریباً در ساخت تمامی کارخانجات شیشه کوره‌هایی وجود داردکه دیرگدازهای آن (معروف به زاک) به صورت ذوب و ریخته‌گری ساخته می‌شوند.

ذوب و ریخته‌گری سرامیک‌ها، با مشکلات فراوانی همراه است، به‌طوری که کاربرد آن را محدود ساخته است ؛ از جمله :

۱ــ نقطه‌ی ذوب سرامیک‌ها بالاست.

۲ــ مذاب‌های سرامیکی ویسکوزیته‌ی بالایی دارند. بنابراین، به‌خوبی قالب را پر نمی‌کنند.

۳ــ هدایت حرارتی سرامیک‌ها پایین است. بنابراین، زمان سرد شدن آن‌ها طولانی است.

۴ــ آن‌ها هنگام تبدیل از حالت مایع به جامد، انقباض‌های شدیدی از خود نشان می‌دهند، به‌طوری که گاهی باعث اعوجاج و معیوب شدن محصول می‌گردد.

بنابراین، در این روش کوره‌های با دمای بالا و قالب‌هایی که تحمل حرارت‌های زیاد را داشته باشند، مورد نیاز است و در مجموع، روشی پرهزینه به شمار می‌آید.

به طورکلی موادی دیرگداز نامیده می‌شوند که دارای نقطه‌ی ذوبی بالاتر از $1580^{\circ}C$ داشته باشند.

جدول ۱ــ۴ ــ دمای ذوب مواد دیرگداز

نوع ماده	فرمول	دمای ذوب $^{\circ}C$
(کریستوبالیت) اکسید سیلیسیم	SiO_2	۱۷۱۳
اکسید آلومینیم	Al_2O_3	۲۰۵۰
اکسید کلسیم	CaO	۲۲۷۸ ± ۱۰
اکسید زیرکونیم	ZrO_2	۲۷۱۰
کاربید سیلیکون	SiC	۲۸۳۰

شیشه

با نگاهی به پیرامون خود، می‌توانید محصولات مختلفی را بنگرید که از شیشه ساخته شده‌اند. ظروف شیشه‌ای در انواع شکل‌ها، لوازم تزیینی، مانند لوستر و گلدان، حباب و لامپ، شیشه‌های تخت یا جام، لوازم آزمایشگاهی، عدسی‌ها و لنزها، شیشه‌های ویژه، مانند شیشه‌های ضدگلوله و مقاوم در برابر اشعه‌ی X ، چند لایه و نظایر آن نمونه‌ی فرآورده‌هایی هستند که به‌طور کاملاً گسترده‌ای در زندگی روزمره‌ی ما وجود دارند.

هر یک از محصولات شیشه‌ای، با روش خاصی تهیه می‌شوند و با روش‌های شکل دادن به دیگر سرامیک‌ها تفاوت دارد. در واقع بحث تولید و شکل دادن به شیشه نیاز به کتاب جداگانه‌ای

دارد. اما به‌دلیل اهمیت این محصول و برای آشنایی مختصر با بعضی از انواع روش‌های شکل دادن به شیشه، به آن اشاره می‌شود.

نکاتی که در مورد شکل دادن به شیشه اشاره می‌شود، صرفاً نظری اجمالی به روش‌های شکل دادن آن‌هاست تا بتوانید از این رهگذر، روش‌های مختلف شکل‌دهی به سرامیک‌ها را مقایسه کنید.

شکل‌دهی ظروف شیشه‌ای

معمولاً مصنوعات شیشه‌ای را می‌توان به دو روش اصلی شکل داد :

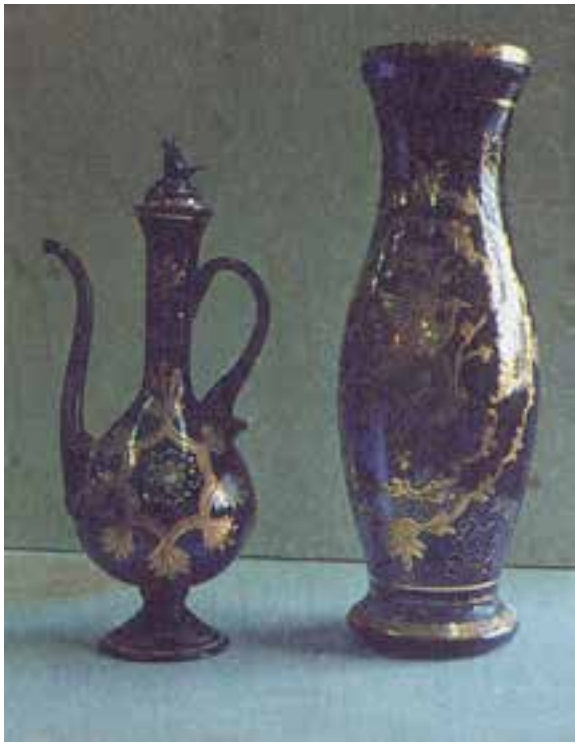
الف) روش دستی: در این روش یک لوله‌ی دمش شیشه‌گری در مخزن یا تانک کوره وارد می‌شود و ضمن چرخش، مقدار مذاب مورد نیاز (لقمه) برداشته می‌شود و مازاد آن را شیشه‌گر دیگری با قیچی مخصوص می‌برد.

لوله‌ی مخصوص شیشه‌گری در اختیار کارگر ماهری قرار می‌گیرد تا به یک محصول شیشه‌ای شکل دهد. در روش دستی، راه‌های گوناگونی برای شکل دادن به قطعه‌ی موردنظر وجود دارد معمولاً یک کارگر ماهر، ضمن چرخاندن میله‌ی حاوی لقمه، با ابزار دستی یا قالب دستی، شکل موردنظر را پدید می‌آورد. توجه دارید که زمان شکل دادن محدود است و اگر به طول انجامد، مذاب سفت می‌شود و امکان شکل دادن آن از دست می‌رود حباب‌های شیشه‌ای و ظروف تزئینی ؛ مانند گلدان نمونه‌ای از محصولات شیشه‌ای هستند که به روش دستی ساخته می‌شوند.

در شکل دادن به روش دستی، ممکن است لوله‌ی دمش حاوی لقمه دست به دست شود. هر کارگر لازم است بخشی از شکل قطعه را تأمین کند و یا قطعاتی به آن وصل نماید.(مانند دسته گلدان و یا لوله‌ی قوری)

در پایان مرحله‌ی شکل‌دهی، لازم است محصولات بلافاصله به کوره‌های مخصوصی (کوره‌ی آنیل) منتقل شوند تا از شکستن در امان بمانند. در حقیقت حین شکل‌دادن ، ظروف شیشه‌ای تحت تنش‌های مختلفی قرار می‌گیرند. برای رها کردن این تنش‌ها لازم است تا محصولات شیشه‌ای پس از پایان مرحله شکل‌دادن، در یک کوره عملیات حرارتی با دمای مناسب قرار داده شوند، در غیر این‌صورت ممکن است تنش‌های ذخیره شده در قطعه منجر به شکستن آن‌ها شود.

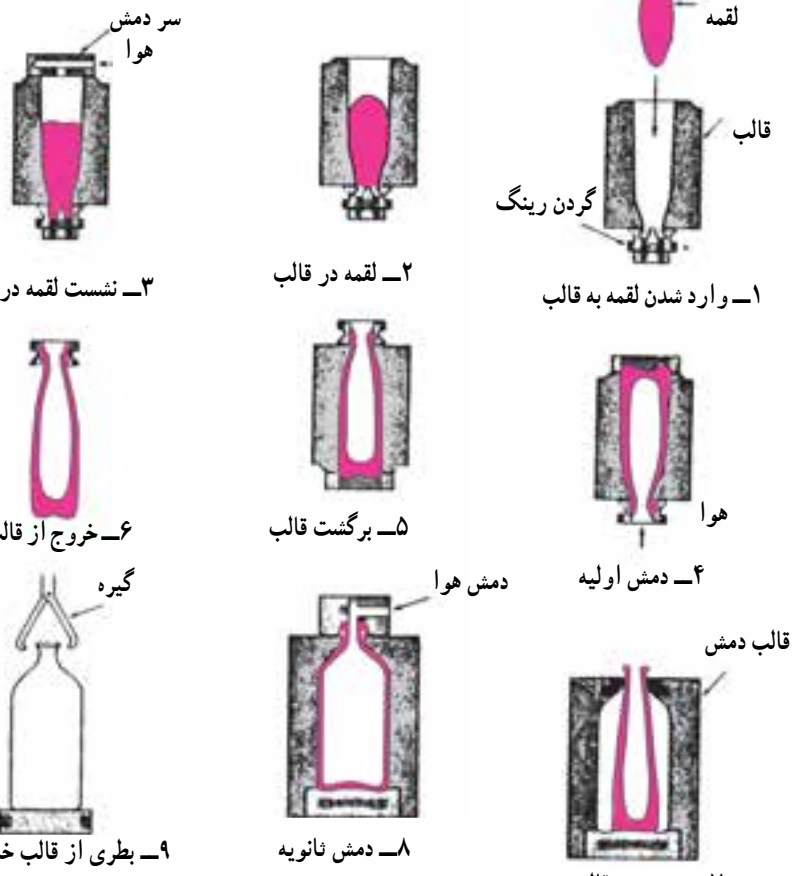
شکل ۱ــ۴ــ لقمه مذاب شیشه در شیشه‌گری دستی



شکل ۲ــ۴ــ دو نمونه از شیشه، که به صورت دستی شکل داده شده‌اند.

ب) روش دستگاهی: در این روش، ظروف شیشه‌ای معمولاً به سه شیوه شکل داده می‌شوند :

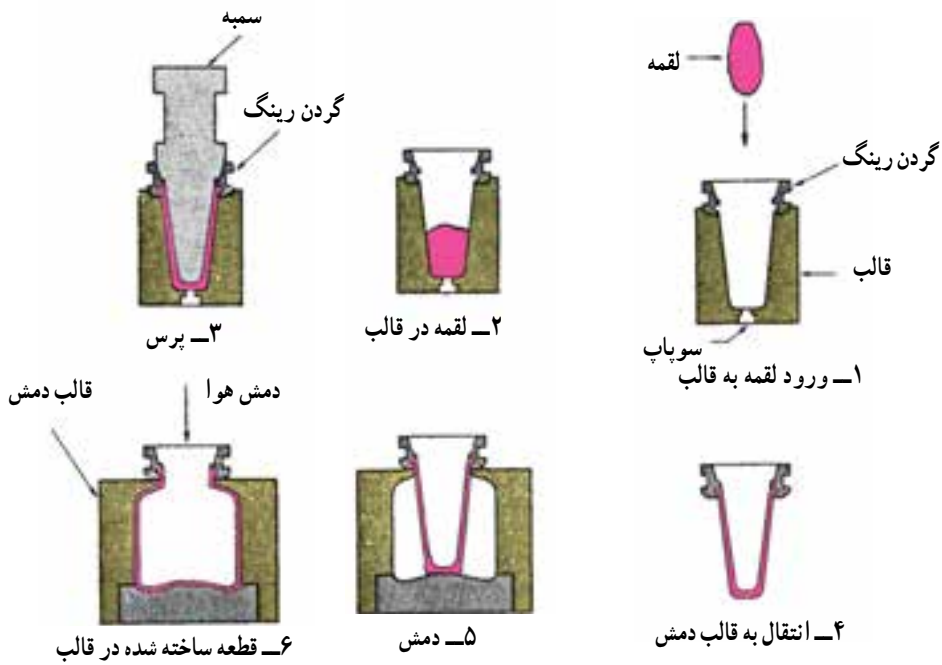
۱ــ روش دمش ــ دمش: به شکل ۳ــ۴ دقت کنید. در این روش لقمه در قالب اولیه خالی (Blank) وارد می‌شود ؛ سپس به دلیل وزن خود نشست می‌کند. در این حالت هوای اولیه به درون قالب دمیده می‌شود و باعث پرشدن قالب می‌گردد ؛ یعنی مذاب شیشه در داخل قالب اولیه به‌صورت توخالی پخش می‌شود. آن‌گاه، قطعه‌ی نیم‌ساخته از قالب اولیه خارج می‌گردد و سپس وارد قالب اصلی می‌شود. در مرحله‌ی هفتم، قطعه‌ی نیم‌ساخته گرم می‌شود تا برای شکل دادن آماده گردد ؛ سپس با دمش نهایی قطعه‌ی موردنظر ساخته می‌شود. در آخرین مرحله، با بازشدن قالب، محصول خارج می‌گردد و به کوره‌های گرمکن (کوره‌ی آنیل) منتقل می‌شود. همان‌گونه که مشاهده کردید از این روش برای تولید محصولاتی که دهانه‌ی تنگ دارند استفاده می‌شود. در واقع محصولاتی که قطر دهانه‌ی آن‌ها، کم‌تر از قطر بدنه‌ی آن‌هاست.



شکل ۳ــ۴ــ روش دمش ــ دمش

۲ــ روش پرس ــ دمش: به شکل ۴ــ۴ دقت کنید، در این روش، لقمه از قسمت فوقانی قالب خالی (Blank) وارد می‌شود ؛ سپس یک سمبه از بالا به قالب وارد می‌شود و شکل اولیه‌ی محصول ایجاد می‌شود ؛ یعنی در این روش، شکل ابتدایی به‌طریق پرس ایجاد می‌گردد.

قطعه‌ی نیم‌ساخته در این مرحله به‌وسیله‌ی یک اهرم، درون قالب اصلی یا قالب دمش قرار می‌گیرد. دقت کنید که این عمل نیز همراه با دوران محصول انجام پذیرد.



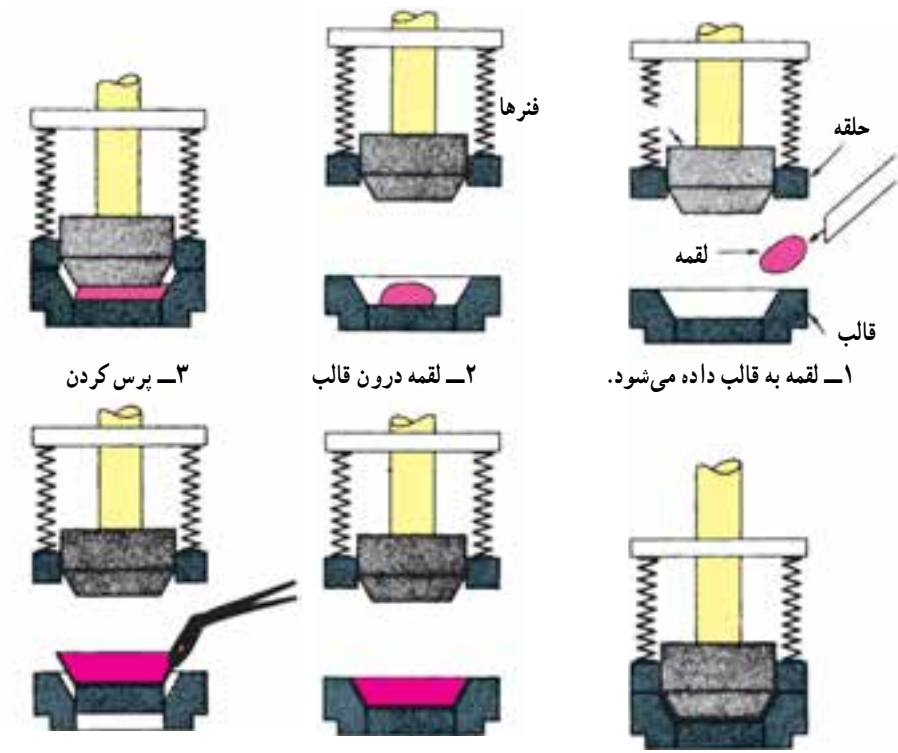
شکل ۴ــ۴ــ مراحل عمل روش پرس ــ دمش

در مرحله‌ی بعد، قالب همراه با محصول ابتدایی گرم می‌شود ؛ سپس شکل قطعه به‌وسیله‌ی دمش پدید می‌آید و در مرحله‌ی آخر، محصول ساخته شده از قالب خارج می‌گردد. این مرحله همراه با سرد کردن قالب انجام می‌گیرد تا محصول شکل داده شده استحکام پیدا کند.

این روش، برای تولید محصولات دهان گشاد مناسب است.

۳ــ روش پرس: در شکل ۵ــ۴ چگونگی شکل دادن به شیشه‌ها با پرس نشان داده شده است. روش پرس نیز ممکن است به‌صورت دستی و یا دستگاهی انجام شود. در پرس دستی، لقمه که در انتهای میله‌ی شیشه‌گری قرار دارد، به بالای قالب هدایت و با قیچی بریده می‌شود تا مقدار مذاب لازم برای شکل دادن وارد قالب گردد ؛ سپس به‌صورت دستی یا دستگاهی عمل پرس کردن انجام می‌گیرد.

پرس کردن شیشه‌ها با ماشین، از نظر اصول، شبیه پرس کردن دستی است ؛ با این تفاوت که در روش دستگاهی تعدادی قالب بر روی میز فلزی دواری چیده می‌شوند ؛ سپس میز طوری می‌چرخد که در هر مرحله لقمه‌ی موردنیاز وارد قالب شود. عمل بریدن لقمه نیز خودکار (اتوماتیک) انجام می‌گیرد ؛ از این‌رو، لقمه‌های انتخابی در این روش یکسان است. بعد از پرس کردن، لازم است قالب سرد شود تا قطعه پس از خروج از قالب و کمی سخت شدن، بتواند شکل خود را حفظ نماید. عمل سرد کردن با جریان هوای سرد انجام می‌گیرد.



۱ــ لقمه به قالب داده می‌شود.
۲ــ لقمه درون قالب
۳ــ پرس کردن
۴ــ پرس کامل شده است.
۵ــ قالب رها شده است.
۶ ــ قطعه از قالب جدا می‌شود.

شکل ۵ــ۴ــ مراحل پرس کردن شیشه

در تمامی مراحل شکل دادن شیشه لازم است قطعات شکل داده شده بلافاصله به گرم‌خانه منتقل شوند.

شکل‌دادن شیشه‌های جام (تخت)

شکل‌دهی به شیشه از نوع تخت، در طول تاریخ، تغییرات بسیاری داشته است. اما در همه‌ی این روش‌ها چند نکته‌ی مهم موردنظر بوده است.

۱ــ ضخامت شیشه در نقاط مختلف آن باید یکسان باشد.

۲ــ سطح آن صاف و عاری از پستی و بلندی باشد.

۳ــ امکان تولید آن با ابعاد (طول و عرض) زیاد، وجود داشته باشد.

بر این اساس، روش‌های شکل دادن به شیشه‌های جام (تخت) نیز به دو روش دستی و دستگاهی تقسیم‌بندی می‌شود :

۱ــ روش دستی: در این روش، مذاب به‌وسیله‌ی دمش به شکل استوانه‌های بزرگ توخالی درمی‌آید ؛ سپس آن را می‌برند و در دمای خاصی این ورقه‌های منحنی را به‌صورت مسطح درمی‌آورند.

در این روش، چون وضعیت دمیدن در همه‌ی نقاط یکسان نیست، محصولات فاقد ابعاد و ضخامت یک‌نواخت می‌شوند ؛ به‌خصوص این که سطح این شیشه‌ها عموماً موج‌دار است و امکان تولید پیوسته با این روش وجود ندارد ؛ هم‌چنین ابعاد محصول نیز دارای محدودیت است.

۲ــ روش‌های دستگاهی (غیردستی): شاید بتوان گفت که مهم‌ترین مزیت روش‌های دستگاهی شکل‌دادن به شیشه‌های تخت یا جام، امکان تولید پیوسته‌ی آن‌هاست. بعضی از روش‌های تولید شیشه‌ی جام به روش غیردستی بدین شرح است :

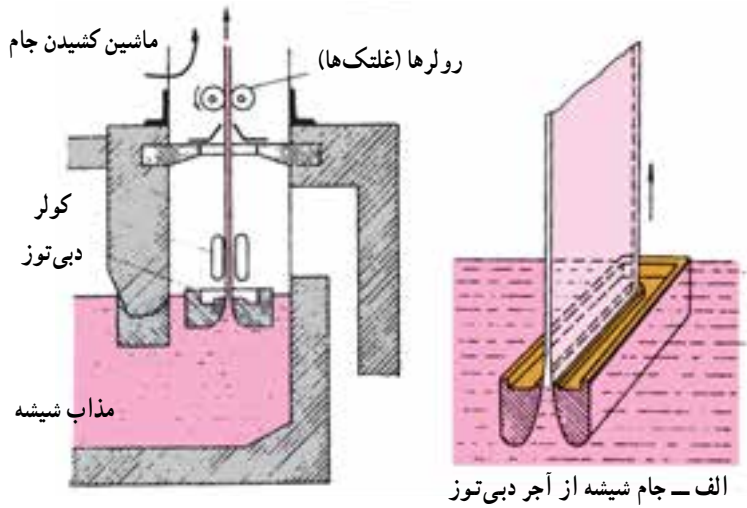
الف) روش فورکلت (Four Cault) :این روش را شخصی به نام «فورکلت» ابداع نمود. روش کار، استفاده از یک بلوک دیرگداز بزرگ به نام دبی توز[۱] است که در وسط آن یک شکاف در طول ایجاد شده است.

این بلوک روی مذاب شیشه قرار می‌گیرد ؛ سپس از بالا به آن فشار وارد می‌گردد. بر اثر فشار، مذاب از شکاف بالا می‌زند. مذاب بالا آمده را با دمیدن هوا کمی سرد می‌کنند ؛ سپس آن را به همان صورت عمودی از بین چند غلتک عبور می‌دهند.

غلتک‌ها دو کار را به‌طور هم‌زمان انجام می‌دهند : اول این که مذاب شیشه را به سمت بالا می‌کشند. این کار به‌صورت پیوسته انجام می‌شود. دوم، در شیشه‌ی جام، سطوح صاف و ضخامت یکسان ایجاد می‌گردد.

۱ــ Debi Teuse

این روش در مقایسه با روش‌های دستی، موجب تحولی در صنعت شیشه گردید. اما به مرور اشکالات آن بروز کرد که به چند مورد آن اشاره می‌شود :



الف ــ جام شیشه از آجر دبی‌توز بیرون کشیده می‌شود.

ب ــ ماشین فورکلت

شکل ۶ــ۴ــ روش فورکلت

۱ــ محدود بودن عرض شیشه به دلیل محدودیت عرض آجر دبی‌توز.

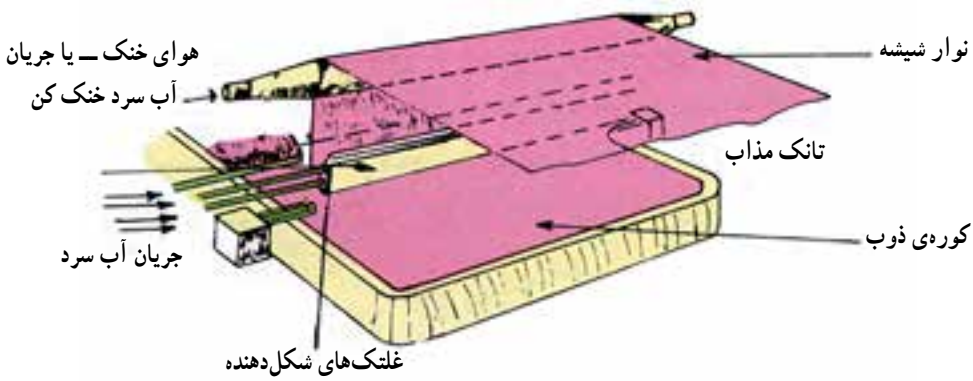
۲ــ عمود بودن سیستم تولید که نیاز به ارتفاع زیاد را ایجاب می‌کرد.

۳ــ ایجاد سرد شیشه در اطراف آجر دبی‌توز و باریک شدن یا انسداد شکاف آن.

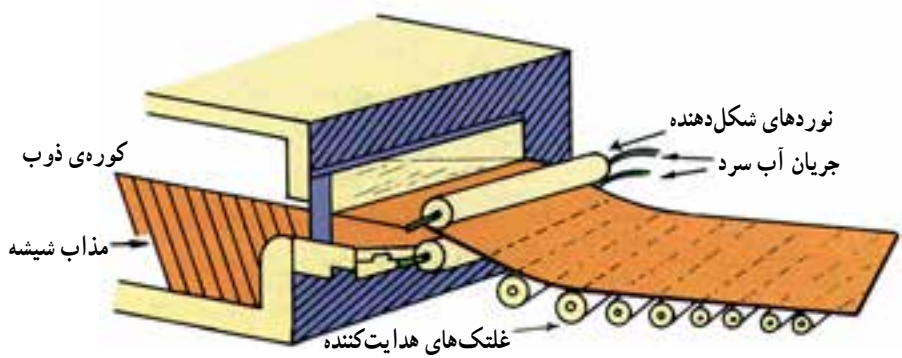
ب) روش کلبرن (Colburn) :در روش فورکلت، کشش شیشه به‌صورت عمودی انجام می‌گرفت ؛ بنابراین، ضرورت داشت تا گرم‌خانه‌ی مورد نیاز برای تنش‌زدایی شیشه‌ی تولید شده، به‌صورت عمودی ساخته شود.

در روش کلبرن، مذاب را به‌وسیله‌ی قلاب‌هایی به سمت بالا می‌کشند و پس از اندکی سرد کردن، آن را بر روی یک غلتک هدایت می‌کنند. با این عمل، کشیدن مذاب شیشه به صورت افقی انجام می‌گیرد. پس محدودیتی در طول گرم‌خانه وجود ندارد و می‌توان گرم‌خانه‌هایی با طول ۶۰ متر نیز ایجاد کرد (شکل‌های ۷ــ۴ و ۸ــ۴).

هرچه سرعت کشش بیش‌تر باشد، از ضخامت شیشه کاسته می‌شود. با این روش جام‌های شیشه‌ای با عرض ۳/۶ متر نیز تولید می‌شود.



شکل ۷ــ۴ــ روش کلبرن برای تولید شیشه جام

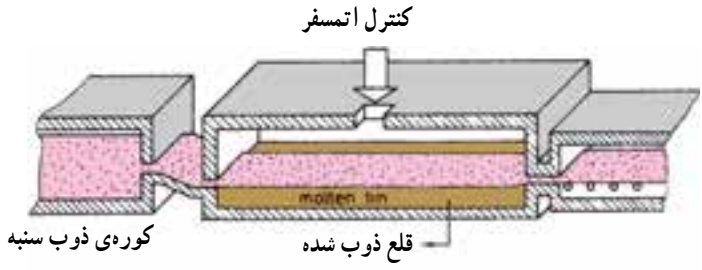


شکل ۸ــ۴

ج) روش «فلوت»[1] (شناوری): این روش اهمیت زیادی در ساخت شیشه‌های جام پیدا کرده است، زیرا محصولی که به این روش ساخته می‌شود، دارای کیفیت بالایی است ؛ ضخامت آن یکسان و سطح آن کاملاً صاف است. به همین دلیل، برای ساخت آینه، بیش‌تر از این نوع شیشه‌ها استفاده می‌شود.

در این روش، مذاب شیشه وارد حمام قلع مذاب می‌شود و بر روی آن شناور می‌گردد. درجه‌ی حرارت مذاب به آهستگی کم می‌شود ؛ به‌گونه‌ای که بتواند به دمایی برسد که روی غلتک برود و به گرم‌خانه منتقل شود. هرچه سرعت دَوَران غلتک بیش‌تر شود، سرعت کشش زیادتر و ضخامت محصول کم‌تر می‌شود.

۱ــ Float



شکل ۹ــ۴ــ تولید شیشه‌ی جام به روش فلوت

مذاب شیشه هنگامی که وارد حمام قلع می‌شود $1050^{\circ}C$ و به هنگام خروج و قرار گرفتن برروی غلتک‌ها $600^{\circ}C$ گرما دارد و چون نقطه‌ی ذوب قلع کم‌تر از این دماست ($232^{\circ}C$) ، پیوسته به‌صورت مذاب خواهد بود. از طرف دیگر، چون وزن مخصوص($6/5 g/cm^3$) قلع بیش از شیشه است، شیشه می‌تواند به صورت شناور روی آن قرار گیرد ؛ هم‌چنین این شیشه ($2/3 g/cm^3$) ارزان و قابل دست‌رس است. همه‌ی این‌ها دلایلی است که موجب انتخاب قلع می‌شود ؛ بنابراین، مذاب شیشه در حمام قلع قرار می‌گیرد و چون به‌صورت شناور است و هیچ جریانی در مذاب قلع وجود ندارد، سطح آن کاملاً صیقلی و ضخامت آن یک‌نواخت است. (شکل ۹ــ۴)

عملیات حرارتی شیشه

از آن جایی که محصولات شیشه‌ای پس از حالت مذاب سریعاً سرد شده‌اند به سرعت نیز انقباض می‌یابند ؛ بنابراین، حامل تنش‌های حرارتی هستند، به طوری که خواص محصول را تغییر می‌دهند. از این رو برای دست‌یابی به خواص مطلوب فرآورده‌های شیشه‌ای، لازم است این محصولات تحت عملیات حرارتی قرار گیرند. در واقع عملیات حرارتی باعث می‌شود تنش‌هایی که در حین سردشدن محصولات ذخیره شده‌اند رها شوند و به آن، مرحله‌ی «تنش‌زدایی» نیز گفته می‌شود.

دیرگداز (نسوز)

بسیاری از آجرها و بلوک‌هایی از جنس آلومینا، سیلیکا، مولایت و نظایر آن، به ویژه بلوک‌های نسوزی که در ساخت کوره‌های شیشه به‌کار می‌روند، همگی با روش ذوب و ریخته‌گری تولید می‌شوند. این روش دارای مزایا و معایبی است که در پی خواهد آمد.

مزایای ذوب و ریخته‌گری

۱ــ اولین و مهم‌ترین مزیت روش ذوب و ریخته‌گری این است که دست‌یابی به قطعات و محصولات بدون تخلخل را فراهم می‌سازد. دیرگدازهایی که با مذاب و سرباره در تماس هستند، هرچه تخلخل کم‌تری داشته باشند نفوذ مذاب به داخل آن‌ها کم‌تر می‌شود و در نهایت عمر آن‌ها زیادتر می‌شود.

۲ــ در صورت استفاده از ماده‌ی اولیه‌ی خالص، می‌توان به محصولی کاملاً متبلور دست یافت که درصد مواد آمورف (غیربلوری) آن کم باشد. مذاب‌ها فاز آمورف را سریع‌تر در خود حل می‌کنند ؛ از این رو، بلوک‌هایی که فاز آمورف کم‌تری دارند، عمر طولانی‌تری نیز خواهند داشت.

معایب ذوب و ریخته‌گری

۱ــ هنگام سرد کردن محصولات، انقباض زیاد است و امکان تشکیل حفره‌های انقباضی در قطعه وجود دارد ؛ یعنی بیش‌تر در قسمت میانی محصول، حفره (مک) به‌وجود می‌آید.

۲ــ اگر سرعت سردکردن زیاد باشد، ممکن است فاز شیشه (آمورف) زیادی تشکیل شود. می‌دانید که سرعت تبلور مذاب‌های سرامیکی پایین و دمای لازم برای ذوب مواد دیرگداز متفاوت است، اما عموماً از 1800° تا 2500° تغییر می‌کند ؛ بنابراین، با توجه به شرایط، برای کارهای آزمایشگاهی از کوره‌های الکتریکی القایی و در مقیاس صنعتی، از کوره‌های قوس الکتریکی استفاده می‌شود.

در کوره‌های القایی، به دلیل داشتن هدایت الکتریکی، از بدنه‌ی گرافیتی یا کربنی استفاده می‌شود. اما در کوره‌های قوس،به هدایت الکتریکی پاتیل یا بدنه‌ی کوره نیاز نیست. زیرا بین دو الکترود و یا بین یک الکترود و مواد اولیه (به شرط هادی بودن) قوس الکتریکی ایجاد می‌شود و حرارت ناشی از این عمل باعث ذوب مواد می‌گردد.

بعد از این که مواد اولیه ذوب شد، آن‌ها را به داخل قالب‌هامی‌ریزند و شکل می‌دهند. قالب‌های مورداستفاده برای ذوب و ریخته‌گری می‌تواند ماسه‌ای و گاهی فلزی نیز باشند.

هم‌چنین برای ترکیبات دیرگدازتر از آلومینای کلسینه شده یا حتی گرافیت استفاده می‌شود. چون انقباض در این روش زیاد است، محصولات را بزرگ‌تر از حد موردنیاز می‌سازند، سپس آن‌ها را برش داده به اندازه‌ی دل‌خواه درمی‌آورند.

همان‌گونه که می‌دانید، در فرآیند ذوب و ریخته‌گری، چون انجماد از کناره‌های قالب آغاز می‌شود و به تدریج به قسمت‌های میانی می‌رسد، لازم است این نوع محصولات پس از تولید، تحت عملیات حرارتی قرار گیرند تا به خواص مطلوب برسند.

به هر حال، گرچه این روش در مقایسه با ساخت محصولات سنتی کاربرد گسترده‌ای ندارد، اما محصولاتی که از این راه تولید می‌شوند، دارای خواص و ویژگی‌های بسیار مطلوبی هستند و در نوع خود منحصر به‌فردند ؛ بنابراین، تولید آن‌ها فقط با روش ذوب و ریخته‌گری امکان‌پذیر است. نقش این فرآورده‌ها در صنایع سرامیک و ذوب فلزات و ... بسیار چشم‌گیر است. در واقع باید گفت : هر صنعتی که به نوعی با حرارت بالا سر و کار دارد، نیازمند این نوع دیرگدازها (Fused Cast) است ؛ پس، اهمیت این محصولات روز به روز در حال افزایش است. در جدول ۲ــ۴ ویژگی‌های چند نوع از این محصولات را مشاهده می‌کنید.

جدول ۲ــ۴ــ مقایسه‌ی خواص آجرهای ذوب و ریخته‌گری و زینتر شده

خواص	ذوب و ریخته‌گری شده با ۴۰ درصد ZrO_2 معروف به زاک* مورد مصرف در ساخت تانک کوره‌ی شیشه		به روش پرس شکل داده سپس در کوره زینتر شده است
ترکیب شیمیایی	ZAS٪۴۰	ZAS ٪۳۶	
ZrO_2	۴۰/۴	۳۶/۴	۱۹/۵
Al_2O_3	۴۵/۴	۵۰۱۷	۷۰
SiO_2	۱۲/۹	۱۱/۳	۱۰/۲
قلیایی	۱/۱	۱/۶	تـ
Fe_2O_3	۰/۱	ــ	تـ
TiO_2	۰/۱	ــ	تـ
ناخالصی	ــ	ــ	٪۰/۳
درصد تخلخل	۱	۱	۱۵ــ۲۳
استحکام خمشی (Psi) **	بیش از ۵۰۰۰	بیش از ۵۰۰۰	۲۰۰۰ ــ ۳۳۰۰
مقاومت دربرابر شوک حرارتی	متوسط تا خوب	متوسط تا خوب	خوب تا عالی
مقاومت در برابر سایش	عالی	عالی	متوسط تا خوب

* Z (زیر کونیا)، A (آلومینا)، C حرف اول نام شرکت Corbat Company.

** فشار برحسب پوند بر اینچ مربع

پرسش‌های فصل چهارم

۱ــ به چه دلایلی روش ذوب و ریخته‌گری کاربرد کم‌تری در شکل دادن سرامیک‌ها دارد؟

۲ــ دیرگدازهای ذوب و ریخته‌گری شده (Fused Cast) در مقایسه با دیگر دیرگدازها، چه ویژگی مهمی دارند؟

۳ــ چرا دیرگدازهای ذوب و ریخته‌گری شده را بزرگ‌تر از ابعاد مطلوب می‌سازند و سپس آن‌ها را برش می‌دهند؟

۴ــ روش ذوب و ریخته‌گری سرامیک‌ها عموماً در چه کوره‌هایی انجام می‌شود؟

۵ــ روش‌های شکل دادن ظروف شیشه‌ای را نام ببرید.

۶ــ انواع روش‌های شکل دادن شیشه جام را شرح دهید.

۷ــ مزیت شیشه‌ی فلوت (Float) را نسبت به سایر شیشه‌ها شرح دهید.

۸ــ چرا عملیات حرارتی بر روی محصولات شیشه‌ای و ذوب و ریخته‌گری انجام می‌شود؟

شکل ۱۰ــ۴ــ آیا می‌توانید روش شکل دادن هر یک از این محصولات را بیان کنید؟