بررسی تولید و خواص شیشه‌های اوپال غیر فلوئوریدی

مجتبی معین افشاری

قزوین، شرکت شیشه لیا

پیام‌نگار: **moinafshar@liyaglass.com**

چکیده

شیشه‌های اوپال را از لحاظ ترکیب شیمیایی می‌توان به دو گروه عمده فلوئوریدی و غیر فلوئوریدی تقسیم بندی کرد. آنچه به عنوان اوپال معمولی در ایران تولید می‌شود، نوع فلوئوریدی آن است. در مقاله حاضر که حاصل انجام پروژه‌ای مشترک بین دانشگاه علم و صنعت و شرکت شیشه و گاز است، تولید چهار گروه از شیشه‌های اوپال غیر فلوئوریدی در مرحله آزمایشگاهی و خواص این نوع شیشه‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. در این رابطه ۱۰ نمونه شیشه‌های اوپال (کلسیم- فسفاتی) با ترکیبات مختلف، ۵ نمونه شیشه‌های اوپال (کلسیم- روی- فسفاتی)، ۱۲ نمونه شیشه‌های خود اوپال (کلسیم- منیزیمی) و ۱۴ نمونه شیشه‌های خود اوپال کلسیمی در مرحله آزمایشگاهی تهیه گردید.

در تمامی آزمایش‌ها، بچ حاصل از اختلاط کامل مواد اولیه در درون بوته نسوز آلومین بالا به مدت دو ساعت در دمای ۱۴۵۰℃ حرارت داده شدند. مذاب‌های تولید شده به درون قالب فولادی پیش گرم شده در دمای ۴۰۰ ℃ به ابعاد ۲ ×۲ ×۱۵ سانتیمتر تخلیه شد و سپس شیشه‌های حاصل در دمای Tg + ۵℃ به مدت نیم ساعت آنیل شدند.

مسائل ذوب و تاثیر ترکیبات مختلف بویژه قلیایی‌ها و قلیایی‌های خاکی در میزان اوپاسیته شیشه‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. خواص فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های بدست آمده از جملهٔ الگوی دیلاتومتری،اوپاسیته، استحکام خمشی، مقاومت در برابر قلیایی‌ها و مقاومت در برابر اسیدها با روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شده و بر اساس نتایج حاصل از آزمایشها ترکیب مناسب برای تولید هر یک از انواع شیشه‌های اوپال غیر فلوئوریدی توصیه شده است.

کلمات کلیدی: اوپال‌های غیر فلوئوریدی، اوپال‌های فسفاتی، اوپال‌های خودبخودی (کلسیم – منیزیمی)، اوپاسیته، الگوی دیلاتومتری

۱- مقدمه

شیشه‌های اوپال دارای کاربردهای تجاری گسترده ای می‌باشند. از مهم ترین کاربردهای آنها می‌توان به ظروف آشپزخانه، ظروف سر میز، شیشه‌های آرایشی و بهداشتی و روشنایی شامل اجزاء و قطعات لوستر و حباب لامپ اشاره کرد.

شیشه‌های اوپال اساساً شیشه‌های جدایش فازی یافته‌اند و میزان مات بودن (اوپاسیته) آنها ناشی از انکسار و تفریق داخلی نور، بین فازهای جدا شده است. این جدایش فازی ممکن است از نوع (مایع– مایع) یا (مایع– بلور) (کریستال) باشد، که نوع اخیر برای انواع اوپال تجارتی بیشتر عمومیت دارد.

شیشه‌های اوپال را از لحاظ عامل مات‌کننده می‌توان به سه گروه تقسیم کرد:

- اوپال‌های فلوئوریدی
- اوپال‌های فسفاتی
- اوپال‌های جدایش فازی و فاقد عامل مات‌کننده

www.SID.ir

شیشه‌های اوپال همچنین ممکن است به اوپال‌های خود بخودی یا اوپال‌های گرمایش مجدد تقسیم بندی شوند. اوپال‌های خودبخودی در حین سرمایش از حالت مذاب در زمانی کوتاه بدست می‌آیند و تجربه‌ای دال بر اینکه اوپاسیته با عملیات حرارت بعدی افزایش یابد، وجود ندارد. اوپال‌های گرمایش مجدد ممکن است در حین سرمایش از حالت مذاب شفاف یا نیمه شفاف باشند که نهایتا بعد از عملیات حرارتی اوپاسیته بیشتری حاصل خواهد شد.

اکثر اوپال‌های تجارتی از نوع خودبخودی و کریستالی هستند. در این نوع شیشه‌های اوپال فلوئوریدی از فلوئورید کلسیم یا فلوئورید سدیم و بندرت از فلوئورید آلومینیم (به صورت ترکیب) برای دستیابی به اوپاسیته استفاده می‌شود.

اوپال‌های غیر فلوئوریدی، طیف وسیعی از اوپال‌های فسفاتی و اوپال‌های (کلسیم – منیزیمی) خودبخودی را شامل می‌شوند. در مقاله حاضر مسائل تولید و خواص چهار دسته از اوپال‌های غیر فلوئوریدی شامل:

- اوپال‌های (کلسیم – فسفاتی)، اوپال‌های (کلسیم- روی- فسفاتی)،
- اوپال‌های خودبخودی (کلسیم – منیزیمی) (بدون اوپاسیفایر).
- اوپال‌های خودبخودی کلسیمی (بدون اوپاسیفایر).

بر اساس نمونه‌های آزمایشگاهی تولید شده و مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

۲- شیشه‌های اوپال کلسیم- فسفاتی (نتایج آزمایشگاهی)

در فرمولبندی اوپال‌های (کلسیم – فسفاتی) از مواد اولیه سیلیس، فلدسپات، دولومیت، کربنات کلسیم، کربنات سدیم، دی کلسیم فسفات، اسید بوریک، سیلیکات زیرکونیم، سولفات سدیم، اکسید روی و اکسید ارسنیک استفاده شد که آنالیز شیمیایی این مواد در جدول (۱) آمده است.

با استفاده از مواد اولیه فوق ده ترکیب مختلف شیشه فرمولبندی شد که ترکیب شیشه‌های حاصل در جدول (۲) درج شده است.

جدول ۱– آنالیز شیمیایی مواد اولیه (درصد وزنی)

درصد وزنی اکسیدها / نام مواد اولیه	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	Tio_2	Cao	Mgo	K_2o	Na_2O	B_2O_3	P_2O_5	ZrO_2	As_2O_3	ZnO	L.O.I
سیلیس همدان	۹۹/۱۹	۰/۵۱	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۱	۰/۰۲	–	–	–	–	–	۰/۱
فلدسپات چغایی	۷۳/۶۹	۱۳/۶۶	۰/۲۳	۰/۰۵	۰/۹	۰/۳۳	۵/۱۷	۳/۳۳	–	–	–	–	–	۲/۶۴
دولومیت	–	۰/۳	۰/۰۷۵	–	۳۱/۹۲	۲۱/۳۶				–	–	–	–	۴۵/۷۳
کربنات کلسیم	۰/۷۲	۰/۱۸	۰/۰۳	۰/۰۴	۵۴/۷۴	۱/۲	۰/۰۱	۰/۰۱	–	–	–	–	–	۴۳/۴۴
کربنات سدیم	–	–	–	–	–	–		۵۸	–	–	–	–	–	۴۱
دی کلسیم فسفات	–	–	–	–	۴۰	–		–	–	۵۰	–	–	–	۸/۵
سیلیکات زیرکونیم	۳۳	–	۰/۰۴	۰/۲۵	–	–		–	–	–	۶۵/۵	–	–	–
سولفات سدیم														
اسید بوریک	–	–	–						۵۶					۴۳
اکسید روی													۹۹/۵	
اکسید آرسنیک												۸۵		۱۴

Archive of SID

www.

جدول ۲– ترکیب شیمیایی شیشه‌های اوپال کلسیم – فسفاتی (درصد وزنی)

درصد وزنی اکسید / شماره ترکیب	SiO_2	Al_2O_3	Cao	Mgo	Na_2O	P_2O_5	B_2O_3	ZrO_2	ZnO
۱	۵۶/۵	۴/۵	۱۹/۵	۶	۴/۵	۷/۵	۱/۵		
۲	۵۶/۵	۴/۵	۱۸/۵	۶	۵/۵	۷/۵	۱/۵		
۳	۵۶/۵	۴/۵	۱۷/۵	۶	۶/۵	۷/۵	۱/۵		
۴	۵۶/۵	۴/۵	۱۶/۵	۶	۷/۵	۷/۵	۱/۵		
۵	۵۶/۵	۴/۵	۱۵/۵	۶	۸/۵	۷/۵	۱/۵		
۶	۵۶/۵	۴/۵	۱۹	۶	۵	۷/۵		۱/۵	
۷	۵۶/۵	۴/۵	۱۸	۶	۶	۷/۵		۱/۵	
۸	۵۶/۵	۴/۵	۱۷	۶	۷	۷/۵		۱/۵	
۹	۵۶/۵	۴/۵	۱۸	۶	۵	۷/۵		۱/۵	۱
۱۰	۵۶/۵	۴/۵	۱۷	۶	۵	۷/۵		۱/۵	۲

۲-۱ ذوب و شکل دادن

تمامی مواد اولیه معدنی از الک مش ۶۰ (۲۵۰ میکرون) عبور داده شدند. برای هر ترکیب مواد اولیه جداگانه توزین و در هاون دستی و کیسه پلاستیکی کاملا مخلوط شدند. ترکیب‌های حاصل در درون بوته نسوز آلومین بالا (۷۰ درصد آلومینای ریزدانه و ۳۰ درصد کائولن) ریخته شده و به مدت دو ساعت در دمای ۱۴۵۰ درجه سلسیوس حرارت داده شدند. مذاب‌های حاصل به درون قالب فولادی پیش گرم شده در دمای ۴۰۰ درجه سلسیوس و به ابعاد (۲ ×۲ ×۱۵) سانتیمتر تخلیه شدند. شیشه‌های حاصل در دمای Tg + ۵ °C به مدت نیم ساعت تنش‌گیری شدند.

۲-۲ نتایج آزمایشات

۲-۲-۱ ذوب و اوپاسیتی

تمامی ترکیبات در دمای ۱۴۵۰ درجه سلسیوس ذوب شدند و هیچگونه سنگی در آنها مشاهده نشد، اما گرانروی ترکیبات شماره ۱ و ۲ بالا بود. گرانروی بقیه ترکیبات مناسب بود.

با مشاهدات چشمی و بررسی تیغه‌های نازک شیشه ها، اوپاسیته ترکیبات شماره ۱ و ۲ و ۳ کاملا عمیق بود و اوپاسیته ترکیبات شماره ۴، ۵، ۷ و ۸ که درصد اکسید سدیم در آنها افزایش یافته بود، کاهش یافت. اوپاسیته ترکیبات شماره ۶ و ۹ و ۱۰ علیرغم افزایش اکسید روی، کاملاً عمیق نبود.

با بررسی‌های فوق ترکیب شماره ۳ از لحاظ ذوب، گرانروی و اوپاسیته کاملا مطلوب تشخیص داده شد.

۲-۲-۲ حباب زدایی

برای بررسی نحوه تاثیر ترکیبات حباب زدا، به ترکیب شماره ۳ یک درصد وزنی سولفات سدیم اضافه شد.مشاهدات نشان داد که سولفات سدیم تاثیر منفی بر اوپاسیته دارد. از یک دهم درصد اکسید ارسنیک برای حباب زدایی استفاده شد که تاثیر منفی بر اوپاسیته مشاهده نشد.

۲-۲-۳ بررسی الگوی دیلاتومتری

الگوی دیلاتومتری شیشه ترکیب شماره ۳ در شکل (۱) آمده است. با بررسی شکل مزبور دماهای Tg و Ts (نقطه نرم شدن دیلاتومتری) و نقطه کرنش[1] به ترتیب ۶۵۰، ۷۱۵، ۶۱۵ درجه سلسیوس است که در نتیجه دمای آنیل آن را می‌توان معادل Tg + ۵°C در نظر گرفت.

۲-۲-۴ مقاومت شیمیایی

برای تعیین مقاومت شیمیایی شیشه مزبور، نمونه‌های شیشه ای به ابعاد (۱ ×۲ × ۵) سانتیمتر به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۹۵ درجه

1. Strain point

www.SID.ir

سلسیوس در محلول‌های اسید کلرهیدریک ۵ درصد وسود سوزآور ۵ درصد قرار داده شد که کاهش وزن به ترتیب $۱/۷۵ \times ۱۰^{-۵}$ و $۵/۴ \times ۱۰^{-۳}$ میلی گرم بر میلی متر مربع (mg/mm^2) را نشان می‌دهد.

۲-۲-۵ استحکام خمشی

استحکام خمشی شیشه ترکیب شماره ۳ برابر با ۱۱ ± ۵۷ مگانیوتن بر متر مربع اندازه گیری شد.

۲-۲-۶ نتیجه‌گیری

از آزمایشات انجام شده بر روی ترکیبات ده گانه شیشه‌های اوپال (کلسیم – فسفاتی) نتایج زیر حاصل می‌گردد:

۱. اثر افزایش اکسید سدیم در برابر کاهش اکسید کلسیم (به منظور کم کردن نقطه ذوب و کاهش خاصیت زود قوام بودن[1] شیشه) می‌تواند تا حدود ۶/۵ درصد اکسید سدیم انجام شود. افزایش بیشتر اکسید سدیم باعث کاهش محسوس خاصیت اوپاسیته می‌شود.

۲. افزایش ۱/۵ درصد اکسید بور در این نوع شیشه‌ها اثر مطلوبی بر پدیده جدایش فازی خواهد داشت. اثر اکسید آلومینیم هم به همین دلیل مثبت است، (تا ۴/۵ درصد). جایگزینی اکسید زیرکونیم بجای اکسید بور اصولا خاصیت اوپاسیته را کاهش می‌دهد و توصیه نمی‌شود.

۳. حباب زدایی- اصولا در مقیاس آزمایشگاهی به دلیل کم بودن حجم نمونه‌ها مشکل حباب زدایی وجود ندارد. اما در مقیاس پایلوت و تولید صنعتی در صورت نیاز به استفاده از مواد حباب زدا اکسید ارسنیک (As_2O_3) پیشنهاد می‌شود، زیرا مطابق آزمایشهای انجام شده افزودن سولفات سدیم اثر منفی بر پدیده جدایش فازی و اوپاسیته دارد.

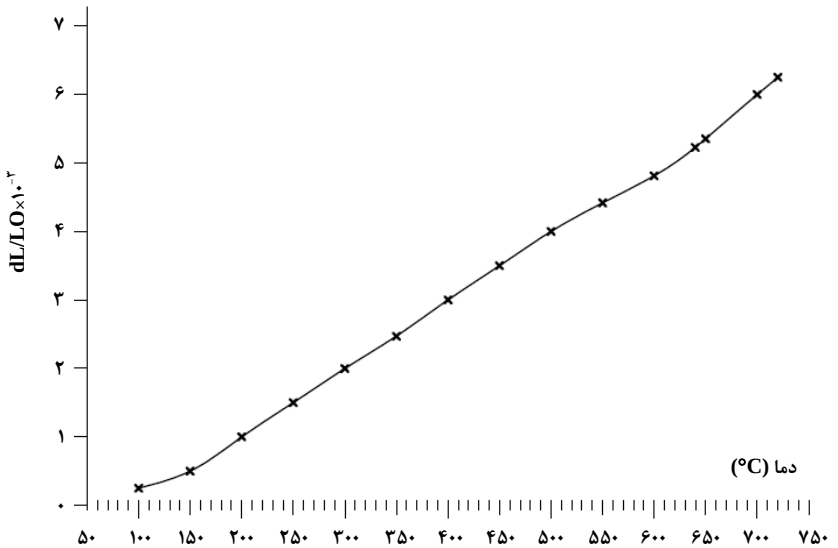
۴. استحکام مکانیکی این شیشه‌ها (نمونه شماره ۳) در حد شیشه‌های تجاری بوده و قابل قبول است.

۵. مقاومت شیمیایی ترکیب شماره ۳ در حد قابل قبول شیشه‌های تجاری است.

۳- اوپال‌های (کلسیم- روی- فسفاتی)

در فرمولاسیون اوپال‌های (کلسیم – روی- فسفاتی)، از مواد اولیه سیلیس، فلدسپات، دولومیت، کربنات کلسیم، دی کلسیم فسفات، اسید بوریک، اکسید روی و سولفات سدیم که آنالیز شیمیایی آنها در جدول (۱) آمده است استفاده گردید.

با استفاده از مواد اولیه فوق پنج ترکیب فرمولبندی شده که در جدول (۳) آمده است.



شکل ۱- الگوی دیلاتومتری ترکیب شماره ۳

1. Short Glass

www.
hive of SID

جدول ۳- ترکیب شیمیایی شیشه‌های اوپال (کلسیم- روی- فسفاتی) (درصد وزنی)

درصد وزنی اکسید / شماره ترکیب	SiO_2	Al_2O_3	Cao	Mgo	Na_2O	P_2O_5	B_2O_3	ZnO
۱	۵۶/۵	۴/۵	۱۶/۵	۶	۶/۵	۷/۵	۱/۵	۱
۲	۵۶/۵	۴/۵	۱۵/۵	۶	۶/۵	۷/۵	۱/۵	۲
۳	۵۶/۵	۴/۵	۱۴/۸۳	۵/۵۵	۶/۵	۷/۵	۱/۵	۳/۱
۴	۵۶/۵	۴/۵	۱۴/۱۶	۵/۱	۶/۵	۷/۵	۱/۵	۴/۲۴
۵	۵۶/۵	۴/۵	۱۳/۴۹	۴/۶۵	۶/۵	۷/۵	۱/۵	۵/۳۶

۳-۱ نتایج آزمایشها

شرایط ذوب نمونه‌ها مشابه مورد قبلی بود. با مشاهدات چشمی اوپاسیته ۵ ترکیب عمیق و خوب بود، اما درخشندگی ترکیب شماره ۲ از بقیه نمونه‌ها بهتر بود. همچنین مشاهده شد که رنگ ترکیب‌های ۴ و ۵ متمایل به بژ است، در حالیکه بقیه نمونه‌ها سفید رنگ بودند.

۳-۲ الگوی دیلاتومتری

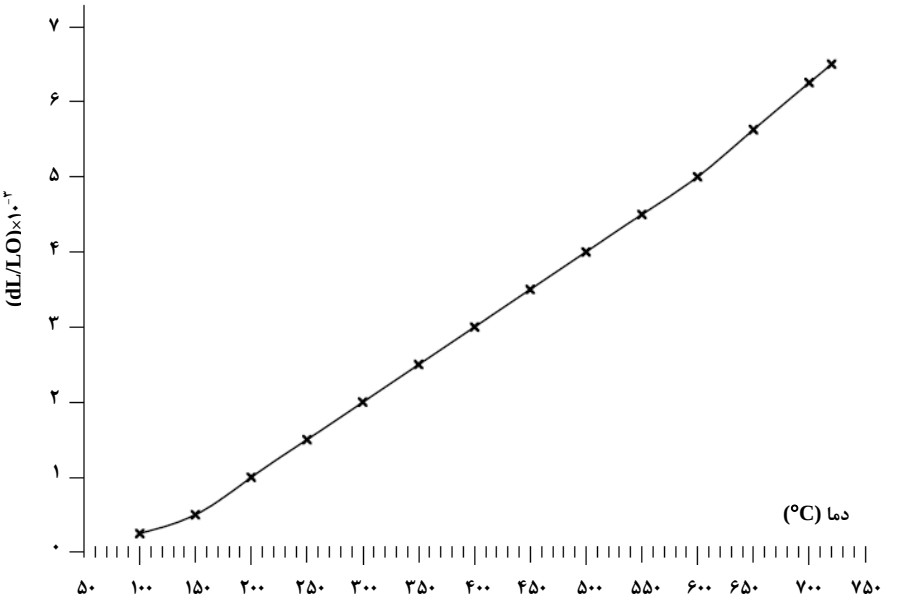
الگوی دیلاتومتری ترکیب شماره ۲ در شکل (۲) آمده است. با بررسی شکل مزبور دمای Tg ، Ts و نقطه کرنش این ترکیب به ترتیب ۶۵۰، ۷۲۰ و ۶۱۵ درجه سلسیوس است که در نتیجه دمای آنیل این شیشه ۶۵۵ درجه سلسیوس خواهد بود.

۳-۳ مقاومت شیمیایی

مقدار کاهش وزن بر واحد سطح شیشه ترکیب شماره ۲ در مقابل اسید کلرهیدریک و سود به ترتیب برابر ۱۱×۱۰^{-۳} و $۶/۹\times۱۰^{-۳}$ میلی گرم بر میلیمتر مربع است.

۳-۴ استحکام خمشی

استحکام خمشی شیشه شماره ۲ برابر با ۱۳ ± ۴۸ مگانیوتن بر متر مربع است.



شکل ۲- الگوی دیلاتومتری ترکیب شماره ۲

www.SID.ir

۳-۵ نتیجه‌گیری

از آزمایشات انجام شده بر روی ترکیبات پنجگانه اوپال‌های (کلسیم- روی – فسفاتی)، نتایج زیر حاصل می‌شود:

۱. افزایش اکسید روی به جای کلسیم تا ۲ الی ۳ درصد وزنی می‌تواند تأثیر مطلوبی بر سفیدی رنگ و درخشندگی نمونه‌ها داشته باشد، اما افزایش بیشتر آن باعث کرم رنگ شدن شیشه می‌شود.

۲. در این نمونه‌ها هم مانند شیشه‌های (کلسیم- فسفاتی)، افزودن سولفات سدیم اثر منفی بر اوپاسیته داشته و اضافه کردن اکسید ارسنیک توصیه می‌شود.

۳. هرچند استحکام مکانیکی این شیشه‌ها (نمونه شماره ۲) کاهش اندکی را نسبت به شیشه‌های (کلسیم – فسفاتی) نشان می‌دهد، با این وجود مقادیر ۱۳ ± ۴۸ مگا نیوتن برمتر مربع برای شیشه‌های تجاری رقمی قابل قبول است.

۴. مقاومت شیمیایی شیشه‌های اوپال (کلسیم- روی- فسفاتی) در مقایسه با اوپال‌های (کلسیم – فسفاتی) در برابر اسیدها بسیار کمتر بوده و در برابر سود کمی کمتر از اوپال‌های (کلسیم- فسفاتی) است.

۵. ضریب انبساط حرارتی ($^{-۷}$ ۱۰ × ۸۴ (۱ /°C به عنوان یک شیشه تجاری قابل قبول و نسبت به شیشه‌های (سودا – لایم) کمتر است که نشانه شوک‌پذیری بهتر این نوع شیشه‌ها در برابر تغییرات ناگهانی دماست.

۶. از جمیع نتایج فوق می‌توان شیشه شماره ۲ را به عنوان یک شیشه قابل قبول در دسته اوپال‌های (کلسیم- روی- فسفاتی) توصیه نمود.

۴- شیشه‌های خود اوپال (کلسیم- منیزیمی)

در فرمولاسیون ۱۲ نمونه شیشه‌های خود اوپال (کلسیم- منیزیمی) که در جدول (۴) آورده شده، علاوه بر مواد اولیه قبلی از اکسید منیزیم و کربنات باریم نیز استفاده شد.

جدول ۴- ترکیبات شیمیایی شیشه‌های اوپال (کلسیم- منیزیمی) (درصد وزنی)

درصد وزنی اکسید / شماره ترکیب	SiO_2	Al_2O_3	Cao	Mgo	Na_2O	P_2O_5	B_2O_3	ZnO
۱	۶۲/۵	۱/۸	۲۰/۱	۱۴/۵	۱/۱	–	–	–
۲	۶۲/۵	۱/۸	۲۰/۱	۱۳/۵	۱/۱	–	–	۱
۳	۶۲/۵	۱/۸	۲۰/۱	۱۲/۹	۱/۱	–	–	۱/۶
۴	۶۲/۵	۱/۸	۱۹/۵	۱۲/۵	۱/۱	–	–	۲/۶
۵	۶۲/۵	۱/۸	۱۸/۹	۱۲/۱	۱/۱	–	–	۳/۶
۶	۶۲/۵	۱/۸	۱۹/۱	۱۴/۵	۱/۱	۱	–	–
۷	۶۲/۵	۱/۸	۱۸/۱	۱۴/۵	۱/۱	۲	–	–
۸	۶۲/۵	۱/۸	۱۷/۱	۱۴/۵	۱/۱	۳	–	–
۹	۶۱/۵	۱/۸	۲۰/۱	۱۴/۵	۱/۱	–	۱	–
۱۰	۶۰/۵	۱/۸	۲۰/۱	۱۴	۱/۱	–	۲	–
۱۱	۵۹/۵	۱/۸	۲۰/۱	۱۴	۱/۱	–	۳	–
۱۲	۶۰/۸۷	۱/۲۳	۲۲/۱۴	۱۵/۱۵	۰/۶	–	–	–

Archive of SID

www.

مواد اولیه پس از اختلاط کامل در بوته‌های آلومین بالا در شرایط مشابه نمونه‌های قبلی ذوب شدند. ترکیب‌های ۱ تا ۵ و ۱۲ در دمای ۱۴۵۰°C کاملاً ذوب شدند و گرانروی نمونه‌ها در حین تخلیه از بوته مناسب بود. ترکیب‌های ۶ تا ۱۱ در دمای مزبور ذوب کاملی نداشتند و گرانروی آنها در حین تخلیه از بوته بالا و توام با مواد ذوب نشده بود.

با مشاهدات چشمی و بررسی شیشه‌های کاملاً ذوب شده همگی شفاف و غیر مات بودند. با حذف سولفات سدیم به عنوان حباب زدا، مقداری اوپاسیته در ترکیبات شماره ۱ و ۱۲ ایجاد شد. به علت عدم دستیابی به اوپاسیته مناسب خواص فیزیکی و شیمیایی نمونه‌ها اندازه‌گیری نشد.

۴-۱ نتیجه‌گیری

ترکیبات انتخابی برای تهیه اوپال‌های (کلسیم- منیزیمی) از نظر رسیدن به شیشه اوپال مطلوب مناسب نبوده و هیچکدام توصیه نمی‌شوند.

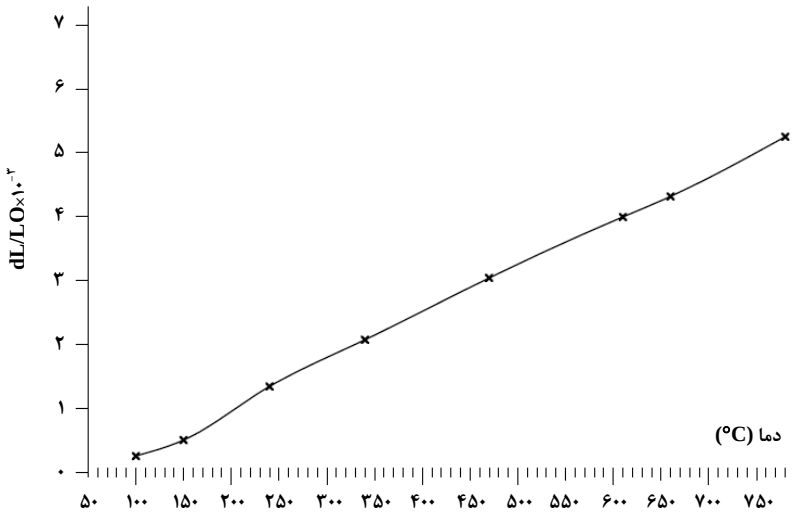
۵- شیشه‌های خود اوپال کلسیمی

با استفاده از مواد اولیه شرح داده شده ۱۴ ترکیب مختلف فرمولبندی شد که در جدول (۵) آمده است. پس از ذوب هر نمونه، از ترکیب مطلوب (شماره ۱۴) الگوی دیلاتومتری تهیه شد که در شکل (۳) ارائه گردیده است.

جدول ۵- ترکیبات شیمیایی شیشه‌های اوپال کلسیم (درصد وزنی)

درصد وزنی / اکسید / شماره ترکیب	SiO_2	Al_2O_3	Cao	Mgo	Na_2O	P_2O_5	B_2O_3	ZnO
۱	۶۷	۱/۱	۲۶/۴	۳	۲/۵	-	-	-
۲	۶۷	۱/۱	۲۵/۴	۳	۲/۵	-	۱	-
۳	۶۷	۱/۱	۲۴/۴	۳	۲/۵	-	۲	-
۴	۶۷	۱/۱	۲۳/۴	۳	۲/۵	-	۳	-
۵	۶۷	۱/۱	۲۲/۴	۳	۲/۵	-	۴	-
۶	۶۷	۱/۱	۲۶/۴	۳	۲/۵	-	۱	-
۷	۶۷	۱/۱	۲۶/۴	۳	۲/۵	-	۲	-
۸	۶۷	۱/۱	۲۶/۴	۳	۲/۵	-	۳	-
۹	۶۷	۱/۱	۲۵/۸	۲/۶	۲/۵	-	-	۱
۱۰	۶۷	۱/۱	۲۵/۲	۱/۲	۲/۵	-	-	۲
۱۱	۶۷	۱/۱	۲۴/۶	۱/۸	۲/۵	-	-	۳
۱۲	۶۷	۱/۱	۲۴	۱/۴	۲/۵	-	-	۴
۱۳	۶۷	۱/۱	۲۷/۴	۳	۱/۵	-	-	-
۱۴	۶۴/۴۴	۰/۴۴	۲۹/۶۳	۳/۶۳	۱/۸۵	-	-	-

www.SID.ir



شکل ۳- الگوی دیلاتومتری ترکیب شماره ۱۴

خواص شیشه اوپال نمونه ۱۴ به شرح زیر اندازه‌گیری شد:

۵-۱ استحکام مکانیکی

استحکام خمشی شیشه ترکیب شماره ۱۴ برابر با $59 \pm 8\ MNm^{-2}$ می‌باشد.

۵-۲ مقاومت شیمیایی

مقدار کاهش وزن بر واحد سطح شیشه ترکیب شماره ۱۴ در مقابل اسید کلرهیدریک و سود به ترتیب برابر با (mg/mm^2) $^{-5}$ ۱۰ × ۱/۲ و (mg/mm^2) $^{-3}$ ۱۰ ×۴/۳ می‌باشد.

۵-۳ نتیجه‌گیری

از نتیجه آزمایشات انجام شده بر روی نمونه‌های چهارده گانه خود اوپال‌های کلسیمی نتایج زیر را می‌توان گرفت.

۱. افزایش BaO بجای Sio_2 و Cao تا (۴ – ۳)٪ وزنی اثری بر اوپاسیته ندارد (در صورت ثابت بودن Na_2O). جایگزینی ZnO بجای Cao و MgO تا ۴ ٪ نیز براوپاسیته موثر نیست (در صورت ثابت بودن Na_2O) در صورت کاهش Na_2O و افزایش Cao (۱ ٪) اوپاسیته بهبود می‌یابد. اما در بهترین حالت افزایش Cao تا حدود ۳ ٪ (نسبت به ترکیب مبنای ۱) در برابر کاهش Sio_2 و کاهش Al_2O_3 بیشترین تاثیر را بر اوپاسیته خواهد داشت.

۲. حباب زدایی – در اینجا نیز افزودن Na_2So_4 اثر منفی داشته و افزایش As_2O_5 توصیه می‌شود.

۳. استحکام مکانیکی عدد $59 \pm 8\ MNm^{-2}$ در حد شیشه‌های تجاری و قابل قبول است.

۴. مقاومت شیمیایی ترکیب شماره ۱۴ نیز در حد معقول می‌باشد

۵. از جمیع نتایج فوق، شیشه شماره ۱۴ را می‌توان بعنوان نمونه موفقی در گروه خود اوپال‌های کلسیمی توصیه کرد.

۶- نتیجه‌گیری کلی

تولید شیشه‌های اوپال غیر فلوئوریدی دارای مزیت‌های زیادی نسبت به شیشه‌های اوپال فلوئوریدی است.

۱. P_2O_5 یا سایر اکسیدها نظیر CaO، MgO، ZnO، BaO که درتولید این نوع شیشه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد بر خلاف ترکیبات فلوئورین از سطح مذاب تبخیر نمی‌شود. این مسئله علاوه بر ملاحظات اقتصادی از بین نرفتن ترکیبات گران قیمت فلوئورین، باعث کاهش خوردگی نسوزهای کوره و افزایش عمر مفید آن می‌شود.

۲. تبخیر فلوئورین از سطح مذاب شیشه‌های اوپال فلوئوریدی باعث عدم ثبات و نوسان در ترکیب شیشه‌های تولیدی می‌شود. که لازم است در فرایند ذوب شیشه مورد فوق همواره مد نظر مسئولین ذوب قرار گیرد.

Archive of SID

www.

۳. ترکیباتی که در تولید شیشه‌های اوپال غیر فلوئوریدی استفاده می‌شود.برخلاف فلوئورین سمی نبوده و تاثیرات سوء بر محیط زیست بر جای نمی‌گذارند.

۴. از لحاظ اقتصادی نیز مواد اولیه مورد استفاده در تولید شیشه‌های اوپال غیر فلوئوریدی در مجموع ارزان تر از مواد اولیه مصرفی برای تولید اوپال‌های فلوئوریدی است.

۷- تشکر و قدردانی

بدینوسیله از تلاش‌ها و زحمات جناب آقای دکتر واهاک مارقوسیان و سایر همکارانشان در دانشکده مهندسی مواد دانشگاه علم و صنعت که در مراحل انجام آزمایشات و ارائه گزارش نتایج آزمایشها، نقش اساسی بر عهده داشته اند تشکر و قدردانی می‌شود.

مراجع

[1] James E. Flannery and Dale R. Wexell; "Commercial Glasses' American Ceramic Society; (1984).
[2] Milos B. Volf; "Technical Approach to Glass;" Elsevier; (1990).

Archive of SID

www.SID.ir