



دانشگاه تربیت مدرس

فناوری تولید الیاف شیشه

گردآوری و تدوین:

دکتر محمد رنجبران

عضو هیئت علمی دانشگاه تربیت مدرس دبیر شهید رجائی

سرشناسنامه : رنجبران، محمد، ۱۳۳۵
 عنوان و نام پدید آور : فناوری تولید الیاف شیشه / گردآوری و تدوین محمد رنجبران
 مشخصات نشر : تهران: دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی، ۱۳۸۸ .
 مشخصات نشر : ۱۸۴ ص: مصور، جدول، نمودار
 شابک : 978 - 964 - 2651 - 32 - 1
 وضعیت فهرست نویسی: فیپا.
 یادداشت : واژه نامه.
 یادداشت : نمایه
 موضوع : فایبرگلاس
 شناسنامه افزوده : دانشگاه شهید رجائی
 رده بندی کنگره : ۱۳۸۸ ق۹/TP860/5
 رده بندی دیویی : ۶۶۶/۱۵۷
 شماره کتابخانه ملی : ۱۷۸۷۷۶۰



دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی

عنوان : فناوری تولید الیاف شیشه
 گردآوری و تدوین : محمد رنجبران
 نوبت چاپ : اول - تابستان ۱۳۸۸
 انتشارات : دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی
 ویراستار ادبی : ص. سلمانانی نژاد مهر آبادی
 صفحه آرای : فاطمه صفرچراتی
 لیتوگرافی : فرهنگ صبا
 چاپ : چاپ و نشر شریف
 ناظر فنی : شهرام طهماسبی
 شمارگان : ۱۰۰۰ جلد
 قیمت : ۳۰۰۰ تومان
 شابک : ۹۷۸-۹۶۴-۲۶۵۱-۳۵-۱

ISBN: 978 - 964 - 2651 - 35 - ۱

کلیه حقوق این اثر برای مؤلفین و دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی محفوظ است.

نشانی: تهران، لویزان - کد پستی ۱۶۷۸۸ - صندوق پستی ۱۶۳ - تلفن: ۹ - ۲۲۹۷۰۰۶۰

نمابر: ۲۲۹۷۰۰۰۳ پست الکترونیکی: sru@srttu.edu

فهرست مطالب

۱	مقدمه
۲	فصل اول: شناخت الیاف شیشه
۳	الیاف شیشه در یک نگاه
۳	نکات تاریخی
۵	تعریف
۵	نکات فنی
۶	ترکیبات شیمیایی شیشه
۷	خواص فیزیکی و مکانیکی شیشه
۹	شیمی الیاف شیشه
۱۱	سوابق تاریخی تولید الیاف شیشه
۱۳	مشخصات فنی و استاندارد های الیاف شیشه
۱۵	خصوصیات الیاف شیشه
۱۷	انواع الیاف شیشه
۲۰	محصولات الیاف شیشه
۲۵	فصل دوم: کاربرد محصولات الیاف شیشه

۲۵	 کاربرد از نظر شکل محصولات
۳۰	 کاربرد از نظر صنایع مصرف کننده
۴۵	 شکل الیاف شیشه مصرفی
۴۶	 بررسی تولید جهانی محصول
۴۷	 فصل سوم: مشخصات کلی مواد اولیه لازم برای تولید الیاف شیشه
۴۷	 خصوصیات کلی
۴۸	 خواص شیمیایی
۴۹	 سایر خصوصیات
۵۱	 خصوصیات مواد اولیه الیاف شیشه
۵۹	 سایر مواد افزودنی
۵۹	 تعیین منابع تهیه مواد اصلی و جانبی
۶۰	 مواد معدنی خام
۶۰	 معادن سیلیس
۶۳	 فصل چهارم: ذوب مواد اولیه برای تولید الیاف شیشه
۶۳	 آماده سازی و مخلوط کردن مواد اولیه
۶۳	 روشهای ذوب برای تولید الیاف شیشه

۶۴	 روش ذوب مستقیم
۶۵	 روش ذوب غیر مستقیم
۶۸	 سیستم بوشینگ
۶۹	 مقایسه و انتخاب روش تولید
۷۱	 واحد ذوب شیشه
۷۲	 کوره های رزراتوری
۷۵	 کوره های الکتریکی
۷۶	 کوره های با شعله مستقیم
۷۷	 کوره های رکوپراتوری
۷۹	 کوره های ترکیبی
۷۹	 اجزای کوره های رکوپراتوری
۸۴	 منطقه ذوب
۸۵	 تولید کننده حباب
۸۶	 مشخصات عمومی تجهیزات واحد ذوب شیشه
۸۸	 سیستم های کنترل کوره
۹۴	 رکوپراتورها یا ژنراتورها
۹۷	 فصل پنجم: فرایند تولید الیاف شیشه

۱۰۰	 طرح شماتیک فرایند تولید الیاف شیشه
۱۰۴	 اسپری کننده آب
۱۰۴	 رزین زن
۱۰۷	 کفشک های جمع کننده الیاف
۱۰۸	 مجموعه بوبین پیچ
۱۰۸	 کولت
۱۱۰	 تراورس
۱۱۰	 تبدیل الیاف شیشه به محصولات نهایی
۱۱۱	 تولید رووینگ
۱۱۵	 تولید یارن
۱۱۶	 تولید مت ازالیاف ریز شده
۱۲۲	 تولید مت از الیاف پیوسته
۱۲۳	 تولید تیشو
۱۲۹	 فصل ششم: آنالیز مهندس
۱۳۰	 اهمیت آنالیز مهندسی
۱۳۱	 مفهوم تعادل سیال
۱۳۳	 سیسم پردازش حرارتی

۱۳۴	 کوره یا ذوب کن
۱۳۵	 کانال ها یا تصفیه کننده ها
۱۳۵	 کوره مقدماتی
۱۳۵	 مشعل ها
۱۳۶	 پوشهای تشکیل دهنده الیاف
۱۳۷	 نظریه و بررسی
۱۳۸	 بررسی مدل شبیه سازی کوره ذوب
۱۴۲	 توصیف و درجه اعتبار مدل کامپیوتری
۱۴۲	 هندسه کوره و محدوده شیشه مذاب
۱۴۶	 تولید و ایجاد شبکه (مش)
۱۴۷	 بررسی کلی
۱۴۷	 مدل محاسباتی
۱۴۸	 شرایط مرزی
۱۵۵	 شرایط انجام عملیاتی
۱۶۳	 بهینه سازی طرح تولید
۱۶۷	 منابع

پیشگفتار

امروزه بزرگترین موسسات صنعتی و تجاری جهان در حال تحقیق برای بدست آوردن مواد مهندسی با بهترین کیفیت بوده تا بدین وسیله بتوانند از آن در تولید انبوه کالاهای جدید خود استفاده نمایند. به بیان دیگر، این مواد مهندسی در جهت راحتی، تأمین امنیت، زیبایی و کیفیت زندگی بهتر مورد استفاده قرار می‌گیرند. مهمترین ماده‌ای که برای تولید مواد مهندسی جدید مورد استفاده قرار می‌گیرد، شیشه و محصولات وابسته به آن است که از صنایع پر رونق در کشور ایران محسوب می‌شود. این فن در سالهای اخیر به عنوان یکی از شاخه‌های صنعت عظیم سرامیک با در خدمت گرفتن ماشین آلات پیشرفته رشد چشمگیری داشته است، اما باید یادآور شد که در این زمینه هنوز در ابتدای راه بوده و به تجربه و کسب دانش اندوزی بیشتر نیازمندیم.

یکی از محصولات صنعت شیشه الیاف شیشه یا Fiber Glass و فرآورده‌های متنوع آن است که کشور ایران یکی از وارد کنندگان این محصول در انواع مختلف آن می‌باشد. فناوری فعلی ذوب شیشه بر اساس کوره پیوسته می‌باشد که ابتدا در نیمه قرن نوزدهم میلادی توسط برادران زیمنس در آلمان بنا به نیاز تولید آن روز طراحی گردید. ایجاد فناوری ذوب شیشه به میزان قابل توجهی همراه با ریسک بالای فنی و مالی بوده بطوریکه هیچ شرکت تولید الیاف شیشه به تنهایی قادر به پذیرفتن این ریسک نخواهد بود. از آنجایی که مصرف کنندگان الیاف شیشه عمدتاً تولیدکنندگان مخارن، صفحات، لوله و فایبرگلاس به صورت متفرقه بوده و هر کدام از این قسمتها به نوبه خود به زیر مجموعه هائی تقسیم می‌گردد، بنابراین رسیدن به یک فناوری ذوب واحد برای شیشه مشکل تر به نظر می‌رسد. از آنجا که عملیات تولید الیاف شیشه مرتبط با کیفیت محیط زیست و امنیت سرمایه گذاری کلان می‌باشد، بنابر نیاز اقتصاد صنعتی، فهم فناوری تولید الیاف شیشه از موارد اساسی برای دانشجویان، مهندسين، اقتصاد دانان، سياست گذاران و مديران صنعتی است. با مطالعه این کتاب، پیچیدگیهای عملیات تولید الیاف شیشه در همه بخشهای صنعت آسان خواهد شد.

محمد رنجبران

mrانjbaran@srttu.edu

مقدمه

اهمیت تولید مواد مرکب (Composite Materials) امری بدیهی است. موضوع مصرف و جایگزینی مواد مرکب بجای آلیاژ های فولادی در سطح جهانی مخصوصاً در کشورهای پیشرفته صنعتی، موضوعی پذیرفته شده است. طی ۶۰ سال گذشته تکنولوژی توسعه و تولید مواد مرکب به سرعت جایگزین تکنولوژی تولید آلیاژ های فولادی گردیده است. پر مصرف ترین مواد مرکب در صنعت مواد مرکب با زمینه پلیمری می باشد.

الیاف شیشه یا فایبر گلاس برای تولید مواد مرکب پلی مری بکار رفته و در واقع مهم ترین بخش آن را تشکیل می دهد. الیاف شیشه در انواع مختلف (E, C, S R و) با ترکیبات شیمیایی مختلف در سطح جهانی تولید و به فروش میرسد. از الیاف شیشه برای تولید مواد مرکب پلیمری استفاده می شود. بوسیله ترکیبی از فایبر گلاس و رزین می توان لوله، ورق و محصولات دیگر در ابعاد مختلف تولید نمود. امروزه این محصول در دنیا به دلیل سهولت عملیات تولید، مصرف و حمل و نقل جایگزین مواد فولادی گردیده است. از محصولات تولیدی به این روش در صنایع هوایی و نظامی، ساختمان، خودرو، وسایل ورزشی، وسائل خانگی، صنایع شیمیایی، اعضای مصنوعی بدن، تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی، صنایع بسته بندی، فیبرهای نوری، شناورها و صنایع دریائی، وسائل حمل و نقل، تجهیزات و قطعات متفرقه و پروژه های آبرسانی استفاده شده است. حدود ۵۰ درصد مواد اولیه مصرفی استفاده شده برای تولید موارد فوق، الیاف شیشه می باشد. بنابراین بدون تردید سرمایه گذاری در بخش الیاف شیشه برای کشورهای در حال توسعه مانند ایران لازم و ضروری است.

فصل اول

شناخت الیاف شیشه

الیاف شیشه در یک نگاه

الیاف شیشه از نخهای بسیار نازک شیشه تشکیل شده است. این مواد محکم، در برابر حرارت مقاوم بوده و در اثر کشش تغییر طولی ندارند و به صورت پشم شیشه عایق های بسیار خوبی بوده و کاملاً از انتقال حرارت جلوگیری می کنند. دارا بودن چنین خواص منحصر به فردی سبب استفاده از آن در موارد مختلفی از قبیل انواع پارچه، صنایع اتومبیل، صنایع نظامی و دریائی و غیره می باشد. مواد اولیه مورد نیاز برای تولید این محصول شامل اکسیدهای سیلیسیم، کلسیم، آلومینیم، بور، منیزیم، آهن، پتاسیم و سدیم و همچنین مواد فلوئوره (فلوئوردار) و به میزان کمی اکسیدهای روی، تیتانیم و منگنز می باشد.

نکات تاریخی

تاریخ تولید اولین الیافهای شیشه دقیقاً مشخص نیست، اما مدارک تاریخی براین نکته دلالت دارد که سابقه تولید الیاف شیشه به تولید شیشه کاری های سنتی و قدیمی مرتبط است. در دوران مصر قدیم از الیاف شیشه در موارد تزئینی از قبیل پیچیدن بدور گلدانهای گلی استفاده شده است. در بررسی تاریخی تولید الیاف شیشه باید به این نکته توجه داشت که ساخت چند دانه از این محصول یک موضوع و تولید انبوه آن برای مصارف تجاری مطلب دیگری است. بنابراین آنچه مسلم است اولین تولیدات بصورت آزمایشگاهی بوده است. بطور قطع تولید فایبرگلاس بصورت انبوه قبل از قرن بیستم اتفاق نیفتاده است. اولین تولید فایبر گلاس به روش جدید در سال ۱۸۳۶ میلادی به نام داباس بونل از فرانسه ثبت شده است. همانطور که استفاده از کوره های تحت فشار هوا عمومیت یافته از این طریق راهی برای تولید مقدار کافی الیاف شیشه بدست آمده که به وسیله آن بتوان فیلترها را تهیه نمود. تولید فیلتر ها یک موفقیت بزرگ بوده و تا سالها ادامه داشته است. سپس در

سال ۱۹۳۲ میلادی یک محقق جوان برای بهبود کیفیت اتصال قطعات شیشه‌ای مورد استفاده در معماری آزمایشاتی انجام داد.

هدف آزمایش این محقق جوان اتصال قطعات شیشه‌ای با استفاده از دستگاه چسب حرارتی تفنگی فلزی بود. بدین ترتیب یک میله شیشه‌ای داخل دستگاه گذاشته و حرارت داده شد. هدف آن بود که بوسیله ذوب مواد شیشه‌ای و پاشیدن آن در محل اتصال دو قطعه به یکدیگر متصل شوند. اما این ابزار بجای تولید و پاشیدن مذاب شیشه در محل اتصال فقط الیاف شیشه ریز تولید نمود. هم زمان یک محقق دیگر روشی برای تولید الیاف ها به منظور عایق بندی در مقیاس تجاری کشف نمود. البته قبل از اینکه تولید در این مقیاس به واقعیت تبدیل شود آزمایشاتی انجام شد که بی حاصل بود. تلاشهای زیادی برای تولید الیاف شیشه بوسیله دستگاه چسب حرارتی تفنگی فلزی توأم با فشار هوا انجام گرفت که نتیجه نداد. سرانجام وقتی از بخار بجای هوای فشرده در این دستگاه استفاده شد آزمایشات نتیجه داد.

در سال ۱۹۳۵ همانطور که برای اولین بار تولیداتی با استفاده از الیاف شیشه جایگزین چوب، بتن و فلزات گردید رویای تولید الیاف شیشه به واقعیت پیوست. در جنگ جهانی اول آلمانیها از فایبر گلاس به عنوان یک ماده بسیار عالی برای عایق بندی استفاده کردند. شرکت شیشه اونز ایلی نويز و کورنیک برای تولید الیاف شیشه در آمریکا آزمایشاتی با موفقیت بین سالهای ۱۹۳۱ تا ۱۹۳۹ انجام دادند. اما با شروع جنگ جهانی همه چیز تغییر کرد. همانطور که کمبود مواد اولیه در همه زمینه ها احساس گردید بطور ناگهانی تمایلی برای جایگزین مواد دیگری بوجود آمد. در فضای جدید تجاری بوجود آمده در اثر وقوع جنگ تأسیس شرکت تولید فایبر گلاس شکل گرفت. یکی از اولین تولیدات این شرکت مواد عایق بندی برای استفاده در نیروی دریائی آمریکا بود که پشم نیروی دریائی نامیده شد.

در سال ۱۹۳۹ پشم شیشه برای عایق بندی ساخته شد. با استفاده از این مواد برای عایق بندی در تاسیسات ساختمانی و تجاری موقعیت جدیدی برای استفاده از الیاف شیشه در سایر موارد نظیر هوا فضا، وسایل پزشکی، وسایل ورزشی و غیره بوجود آمد. شرکت اونز کرنیک اولین قایق ساخته شده از ترکیب پلاستیک و الیاف شیشه را برای نیروی دریائی آمریکا در سال ۱۹۴۴ تولید نمود. اولین قطعات تولید شده از فایبر گلاس که

بوسيله شرکت اونز کورنیگ و جنرال موتور ساخته شده بود در سال ۱۹۵۳ در صنعت اتومبیل مورد استفاده قرار گرفت. در سال ۱۹۶۰ شرکت شورلت و در سال ۱۹۷۵ شرکت پونتیاک از الیاف شیشه در ساخت مخازن ولوله ها استفاده نمودند. در سال ۱۹۹۰ از این مواد برای ساخت شیشه پنجره ها استفاده شد. در سال ۱۹۹۷ از این مواد برای پوششهای ضد گلوله استفاده شد. هم اکنون الیاف شیشه به عنوان یک ماده اصلی ما نند فلزات و پلیمرها مطرح است. مهمترین مورد استفاده آن در ساخت مواد مرکب، لوله و ورق می باشد. امروزه از الیاف شیشه در ۴۰۰۰۰ مورد استفاده می شود.

تعریف

الیاف شیشه رشته های ظریف و خمش پذیری هستند که بواسطه ذوب شیشه و یا ترکیبات تشکیل دهنده شیشه با درصد مشخصی از مواد مورد نیاز، تهیه می شوند. بدین منظور، مخلوط مذاب حاصل از مواد اولیه تشکیل دهنده الیاف، تحت فشار بالا از سوراخ هایی با قطر بسیار کم خارج شده و پس از آغشته شدن به مواد روان کننده بر روی قرقره های چرخان پیچیده می شود. سپس در مراحل بعدی برای تولید محصولات متنوع الیاف شیشه مورد استفاده قرار می گیرند. با توجه به اینکه مشخصات الیاف شیشه تولیدی به طور مستقیم با ویژگیهای شیشه در ارتباط است، لذا در این قسمت ابتدا خصوصیات عمومی شیشه مورد بررسی قرار می گیرد. پس از آن نیز به طور خاص مشخصات انواع الیاف شیشه مورد بررسی و نهایتاً انواع مختلف محصولات قابل تولید از آن معرفی می شوند.

نکات فنی

در یک تعریف کلی می توان شیشه را ماده ای دانست که بدون تشکیل ساختار کریستالی و در حالت آمورف (بی شکل) از سریع سرد شدن مذاب بدست می آید و به هنگام گرم کردن نیز با کاهش ویسکوزیته آن، در یک محدوده حرارتی به تدریج خمیری و سپس ذوب می شود اما با نگاهی تخصصی تر و در محدوده مواد معدنی می توان گفت شیشه جسمی بی شکل است که از گداز سیلیس (اکسید سیلیسیم) و یک اکسید قلیایی به دست می آید. خواص مشخصه این ماده نیز شفافیت، سختی، صلابت در گرماهای متعارف، مقاومت در برابر سایش و عدم خوردگی در برابر مواد شیمیایی (به استثنای اسید فلوئوریدریک) است.

شیشه دارای انواع بسیار گوناگونی است که تفاوت آنها بیشتر بر اساس ترکیب، درصد و نوع مواد اولیه مصرفی می باشد، بطوریکه امروزه بیش از پنجاه هزار فرمول برای تولید شیشه وجود دارد. شیشه های سودا- آهک قدیمی ترین و ارزان ترین نوع شیشه ها هستند که بیشترین کاربرد را نیز دارند. عمده ترین ترکیبات تشکیل دهنده این نوع شیشه، سیلیس، اکسید سدیم و اکسید کلسیم است. میزان مقاومت این شیشه در برابر خوردگی از متوسط تا ضعیف است و مقاومت حرارتی آن در محدوده ۴۶۰ تا ۲۵۰ درجه سانتی گراد می باشد. انبساط حرارتی و مقاومت در برابر ضربه این نوع شیشه نسبت به سایر شیشه ها کم می باشد و عموماً در ساخت پنجره، بطری و لیوان مورد استفاده قرار می گیرد. شیشه های سربی، بوروسیلیکات، آلومینوسیلیکات، ویکور، فسفات، بلوری، سیلیس، فلینت، بورات، جام و ... از جمله دیگرانواع شیشه های تولیدی هستند که هر یک جهت کاربردی خاص مورد مصرف قرار می گیرند.

ترکیب شیمیایی شیشه

مواد اولیه مختلفی با درصد های گوناگون جهت ساخت شیشه وجود دارد که منجر به تولید انواع شیشه با خواص مختلف می شود؛ ولی بطور عمومی و کلی عمده ترین مواد اولیه تشکیل دهنده و نقش آنها در شیشه تولیدی، به قرار زیر می باشد:

سیلیکا

سیلیکا (SiO_2) فراوان ترین نوع ترکیبات شیمیایی در قشر خارجی زمین است و عمده ترین ماده شیمیایی تشکیل دهنده شیشه به شمار می رود.

قلیا

قلیا، بیشتر بصورت اکسید سدیم (Na_2O) یا اکسید پتاسیم (K_2O) و درموردی اکسید لیتیم (Li_2O) بکار برده می شود که سبب کاهش نقطه ذوب و زمان تصفیه می شود. استفاده محدود و مشخص از این مواد، دوام شیشه را به همراه دارد.

آهک

آهک (CaO) بعنوان عامل پایدار کننده شیشه های قلیا - آهک - سیلیکا در برابر آب مطرح می باشد.

آلومینا

آلومینا (Al_2O_3)، عامل افزایش مقاومت شیشه در برابر تغییرات جوی است.

اکسید بور

اکسید بور (B_2O_3)، سبب افزایش سیالیت مذاب مواد شیشه‌ای می‌شود.

اکسید روی

اکسید روی (ZnO)، مقاومت شیشه در برابر اسید را افزایش می‌دهد.

اکسید تیتانیوم

اکسید تیتانیوم (Ti_2O) بعنوان عامل کاهش دهنده غلظت مذاب شیشه مطرح است.

اکسید منگنز

اکسید منگنز (MnO) از عوامل ثبات شیشه می‌باشد.

ترکیب درصد عمومی مواد تشکیل دهنده شیشه شامل ۶۵-۶۲ درصد سیلیکا، ۱۵-۱۱ درصد کربنات سدیم، ۶ درصد آهک، ۴-۳ درصد اکسید بور و ۳-۱ درصد آلومینا می‌باشد. علاوه بر این، برای مصارف خاص، تولید شیشه‌های رنگی و برای افزایش خواص شیشه (نظیر افزایش مقاومت در برابر فشار و ضربه، حرارت، مواد شیمیایی و غیره) از ترکیبات دیگری نظیر اکسید آهن (Fe_2O_3) تری اکسید گوگرد (SO_3) اکسید سرب (PbO_2) اکسید مس (CuO) اکسید کادمیم (CdO) اکسید آنتیموان (Sb_2O_3) اکسید تیتانیوم (Ti_2O) اکسید باریم (BaO) و عناصری نظیر سلنیم (Se) فلوئور (F) و غیره با ترکیب درصدهای خاص استفاده می‌شود.

خواص فیزیکی و مکانیکی شیشه

شیشه از خواص ویژه‌ای نظیر سختی بالا، خواص اپتیکی مطلوب، مقاومت به خوردگی و مقاومت مناسب به حرارت و الکتریسیته، برخوردار می‌باشد. خواص فیزیکی این ماده در ادامه به تفکیک بررسی می‌شود:

وزن مخصوص

وزن مخصوص شیشه بستگی به عملیات حرارتی انجام شده بر روی آن دارد اغلب شیشه‌های معمولی دارای وزن مخصوصی برابر ۲/۵ (gr/cm^3) می‌باشند ولی وزن مخصوص دامنه گسترده انواع شیشه‌ها از ۲/۱ تا ۸/۲ gr/cm^3 متغیر است.

انبساط حرارتی

انبساط حرارتی یکی از خواص مهم و تعیین کننده در پایداری حرارتی شیشه است. انبساط حرارتی با روش فیزیکی تغییرات طولی تعیین می گردد و برای شیشه های مختلف، اعداد متفاوتی بر حسب عکس درجه سانتیگراد (C^{-1}) وجود دارد که به عنوان نمونه به چند مورد آن اشاره می شود.

$$\begin{aligned} \text{شیشه کوارتز} \quad 5 \times 10^{-7} \frac{1}{C^{\circ}} \quad \text{شیشه پیرکس} \quad 32 \times 10^{-7} \frac{1}{C^{\circ}} \\ \text{شیشه محتوی اکسید سرب} \quad 80 \times 10^{-7} \frac{1}{C^{\circ}} \\ \text{شیشه بورو سیلیکات} \quad 50 \times 10^{-7} \frac{1}{C^{\circ}} \end{aligned}$$

استحکام مکانیکی

استحکام مکانیکی یکی از خواص بسیار مهم برای کلیه اجسام شیشه ای می باشد. استحکام این ماده تقریباً شبیه چینی است که عواملی نظیر درجه حرارت، نوع محیط کاری، عملیات حرارتی و نوع اعمال نیرو، این خاصیت را تحت تأثیر قرار می دهند.

سختی

سختی شیشه در مقیاس موس (*Mohs*)، ۵/۵-۶ می باشد. برای جلوگیری از ایجاد خراش در شیشه ها می توان بطور مصنوعی مواد ناخالصی شیشه را به سطح خارجی هدایت کرد.

هدایت حرارتی

هدایت حرارتی شیشه کم و برابر ($Kcal / mh^{\circ} C$) $1/3 - 1/7$ می باشد. لذا می توان شیشه را عایق حرارتی مناسبی دانست. این خاصیت عامل مهمی برای پایداری در برابر تغییرات درجه حرارت می باشد.

شکست نور

اگر یک شعاع نور در محیط هوا به شیشه برخورد کند بر اثر برخورد با یون های تشکیل دهنده شیشه، سرعت آن کنترل می شود. همچنین اگر نور بطور عمود بر شیشه بتابد جهت آن تغییر نمی کند ولی اگر بطور مایل بتابد شعاع شکستی با زاویه شکست خاص مشاهده می شود که تغییرات سرعت نور را به همراه خواهد داشت.

خواص اپتیکی

از مهمترین خواص شیشه، خواص اپتیکی آن است و شفافیت بسیار خوب این ماده در محدوده نور مرئی بسیار حائز اهمیت می باشد. با به حداقل رساندن مواد قلیائی شیشه امکان عبور اشعه ماوراء بنفش فراهم می شود. اما اضافه کردن عنصر سدیم باعث جذب اشعه ماوراء بنفش می گردد.

خواص الکتریکی

شیشه در دمای معمولی دارای بهترین خاصیت دی الکتریک بوده و عایق الکتریسته می باشد، ولی با افزایش درجه حرارت و به علت جابجائی و حرکت یونها (عمدتاً یونهای مواد قلیائی) این ماده هادی الکتریسته می شود، زیرا اصولاً هدایت الکتریکی شیشه توسط مقدار مواد قلیائی آن مشخص می گردد. با افزایش مقدار سدیم، پتاسیم و اکسید بور، این هدایت افزایش می یابد، ولی با افزایش اکسیدهای آلومینیوم، باریوم و سرب خاصیت هدایت الکتریکی کم می شود.

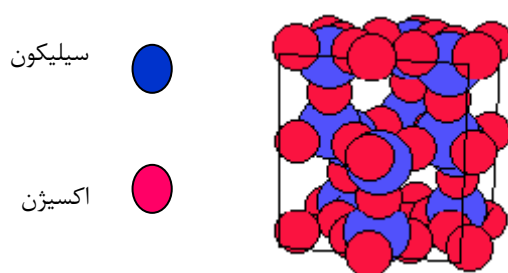
مقاومت به خوردگی

از خواص ویژه شیشه، پایداری آن در برابر بیشتر مواد شیمیایی (به جز اسید فلوئوریدریک) در دماهای معمولی می باشد. این ماده، در برابر محلول های مایع به طور ظاهری پایداری نشان می دهد ولی در حقیقت، شیشه در برابر محلول های مایع ناپایدار است و تا حدودی دچار فعل و انفعالات شیمیایی می شود؛ اما سرعت این واکنشها به قدری کم است که شیشه را در برابر این مواد مقاوم نشان می دهد. محلول های قلیایی نیز با شیشه ترکیب می شوند و به نوعی یک رابطه خطی بین حلالیت شیشه و افزایش PH وجود دارد.

شیمی الیاف شیشه

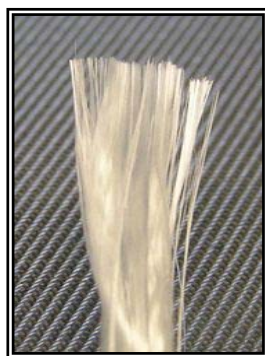
اساسی ترین عنصر تشکیل دهنده الیاف شیشه سیلیکا (SiO_2) است. الیاف شیشه به شکل خالص به صورت یک پلیمر $(SiO_2)_n$ وجود دارد. درجه حرارتی واقعی به عنوان نقطه ذوب برای این ماده مشخص نگردیده اما در درجه حرارت $2000^\circ C$ شروع به نرم شدن و در درجه حرارت $1713^\circ C$ شروع به تجزیه شدن نموده و اکثر مولکولهای آن

می توانند آزادانه حرکت کنند. اگر شیشه از حالت مذاب به سرعت سرد شود قادر به تشکیل یک ساختار منظم نخواهد بود. شیشه به شکل پلیمر گروه های SiO_4 تشکیل داده و به صورت یک تترا هدرن (tetrahedron) با اتم سیلیکون در مرکز و چهار اتم اکسیژن در گوشه در می آید (شکل ۱-۱)، سپس با اشتراک اتمهای اکسیژن در گوشه ها یک اتصال شبکه ایی ایجاد می گردد.



شکل ۱-۱. ساختار مولکولی شیشه

حالت های کریستالی و شبه کریستالی سیلیکا (شیشه و کوارتز) دارای میزان انرژی مشابهی بوده، از این رو می توان گفت شیشه ماده ایی بسیار پایدار می باشد. با توجه به انواع ترکیب و میزان مواد اولیه تشکیل دهنده الیاف شیشه، این محصول دارای انواع مختلفی با کاربردهای متنوع می باشد. در این قسمت پس از ارائه تاریخچه تولید الیاف شیشه نخست ویژگی ها و خصوصیات کلی الیاف شیشه بررسی می شود و سپس انواع الیاف شیشه و محصولات آن تشریح می گردند. شکل ۱-۲ یک دسته الیاف شیشه را نشان می دهد.



شکل ۱-۲ دسته الیاف شیشه