الیاف شیشه با استحکام بالا

سه شنبه ۲۷ مرداد ۱۳۸۸

چکیده

شروع تولید الیاف شیشه برای اولین بار در سال ۱۹۳۵ در شهر نوارك ایالت اوهایو انقلابی در تقویت مواد کامپوزیتی بود به طوریکه تولید الیاف شیشه در سال ۲۰۰۰ به ۲/۶ میلیون تن در سال رسید. در سال ۱۹۴۲ کامپوزیتهای تقویت شده با الیاف شیشه برای اولین بار در سازه های هوافضایی استفاده گردید. در اوایل دهه ۱۹۶۰ الیاف شیشه با مقاومت بالا، S-Glass، باعث بوجود امدن همکاری میان نیروهای هوایی ایالات متحده و شرکت اونز کورنینگ گردید. در سال ۱۹۶۸ الیاف نوظهور S-2 Glass کاربردهای تجاری بالایی پیدا کرد. الیاف شیشه با استحکام بالا الیافی هستند که ترکیبی از مقاومت در برابر دماهای بالا، پایداری، شفافیت و حالت ارتجاعی را دارا میباشند و در عین حال ازنظر قیمت، وزن و عملکرد قابل توجیه هستند. سودمندی الیاف شیشه با استحکام بالا از نظر خواص فیزیکی، مکانیکی، الکتریکی، حرارتی، صوتی، اپتیکی و تشعشعی سنجیده میشود.

۱- معرفی

مصریان باستان با استفاده از گرما، بوسیله الیاف خشنی از شیشه نرم شده ظروف شیشه ای میساختند. در قرن ۱۸ میلادی دانشمند فرانسوی، ریمور، ملاحظه کرد الیاف شیشه نرم قابلیت شکل پذیری برای تبدیل شدن به پارچه شیشه ای تابیده شده را دارد. الیاف شیشه اولین بار در مقدار قابل ملاحظه توسط شرکت اونز کورنینگ در دهه ۱۹۳۰ برای کاربردهای الکتریکی در دمای بالا تولید شد. مواد خام اولیه ازجمله سیلیکات، سودا، خاك رس، سنگ آهك، اسید بوریك، فلور اسپاریا اکسیدهای فلزی مختلف آمیخته شده تشکیل شیشه می دهند که آن را د رکوره ذوب کرده و در یك مسیر افقی به سمت تقسیم کننده جریان می یابد.

شیشه مذاب به سمت بوشینگ های از آلیاژ پلاتونیوم/ رادیوم جاری شده سپس از داخل بوشینگ های مجزا و اریفیس ها با قطر ۰/۷۶-۲/۰۳ میلیمتر می گذرد سپس برای جلوگیری از تشکیل کریستال به سرعت بوسیله هوا خنك شده و الیاف با قطر مطلوب ۳ تا ۲۵ میکرومتر بدست می آید. الیاف شیشه که برای مصارف و کاربردهای مختلف با آهار مناسب آهارزنی شده است بوسیله یك قرقره مکانیکی حداکثر با سرعت ۶۱ m/s جمع می گردد. الیاف شیشه با استحکام بالا مانند S-2 Glass ترکیبی از آلومینو سیلیکات میباشند که در دمای بالا به صورت رشته های با قطر مطلوب ۵ تا ۲۴ میکرون درمی آیند. انواع مختلف دیگر از شیشه های سیلیکاتی برای تولید پارچه و صنعت کامپوزیت تولید میشوند. ترکیبات شیمیایی گوناگون که در زیر توضیح داده شده براساس استاندارد ASTM C 162 برای بدست آوردن ویژگی ها و خواص و کاربردهای مختلف ایجاد شده است.

A- Glass- شیشه های سودا- آهك- سیلیکات در جایی کاربرد دارند که مقاومت، ماندگاری و مقاومت الکتریکی خوب E- Glass موردنیاز نمی باشند.

C- Glass- شیشه های کلسیم- بروسیلیکات به علت پایداری شیمیایی در محیطهای خورنده اسیدی استفاده می گردند.

D- Glass- شیشه های بوروسیلیکات ثابت دی الکتریك پایین جهت کاربردهای الکتریکی استفاده می گردند.

E- Glass- شیشه های آلومینا-کلسیم- بوروسیلیکات با حدأکثر درصد وزنی قلیایی ۲% برای مصارف عمومی مقاومت و مقاومت الکتریکی بالا مورد نیاز می باشد.

ECR Glass- شیشه های کلسیم-آلومینا سیلیکات با حداکثر درصد وزنی قلیایی ۲% برای مصارفی که مقاومت، مقاومت الکتریکی و مقاومت د ربرابر خوردگی در محیط های اسیدی مطلوب میباشد.

AR- Glass- شیشه های قلیایی پایدار که از زیر کنیوم سیلیکات ساخته شده و در لایه های سیمانی در بتن کاربرد دارد.

R- Glass- شیشه های کلسیم- آلومینو سیلیکات که برای تقویت و افزایش مقاومت و مقاومت در برابر خوردگی اسید کاربرد دارند.

S-2 Glass - شیشه های منیزیوم- آلومینو سیلیکات که در لایه های پارچه ای یا در تقویت سازه های کامپوزیتی کاربرد دارند که نیاز به استحکام بالا و پایداری در دماهای خیلی بالا و مقاومت در برابر اسید حس میشود.

۲- ترکیبات شیمیایی الیاف شیشه

تفاوت ترکیبات شیمیایی در انواع شیشه ناشی از تفاوت در مواد خام اولیه یا در فرآیند فرم دهی یا در قیود محیطی در سایت تولید میباشد. این نوسانات شیمیایی تغییر قابل توجهی در خواص شیمیایی و فیزیکی انواع شیشه ایجاد نمی کند. کنترل سخت گیرانه باعث دستیابی به ترکیبات ثابت در تولید شیشه می گردد.

۳- خواص الیاف شیشه

خواص الیاف شیشه ازجمله مقاومت کششی، مدول یانگ و ماندگاری شیمیایی مستقیماً از الیاف اندازه گیری میشود. خواص دیگر مانند ثابت دی الکتریك ضریب اتلاف مقاومت دی الکتریك، مقاومت حجم/ سطح و انبساط حرارتی از توده های انباشته نمونه آنیل شده به دست می آید. خواصی ازجمله چگالی و ضریب و ضریب شکست در هر دو حالت اندازه گیری می گردد.

خواص فیزیکی

چگالی الیاف شیشه در هر دو حالت فرم یافته و یا توده آنیل شده اندازه گیری میشود. ASTM C 693 یکی از روشهای آزمایش برای تعیین چگالی میباشد. در دمای اتاق چگالی یك رشته از الیاف شیشه تقریباً gr/cc ۰/۰۴ از چگالی توده آنیل شده کمتر است. چگالی الیاف شیشه که در طیف کامپوزیت استفاده می گردند تقریبا بین gr/cc ۲/۱۱ برای D-Glass تا gr/cc ۲/۷ برای ECR-Glass تقویت شده میباشد.

مقاومت کششی الیاف شیشه معمولاً به صورت یك رشته از الیاف و یا یك دسته رشته در دمای اتاق اندازه گیری میشود. استحکام قابل انتظار برای یك دسته معمولاً ۲۰% تا ۳۰% پایین تر از مقادیر گزارش شده است که این به علت اشکالات موجود در کوره در حین شکل دهی دسته ها میباشد.

رطوبت اثر زیان آوری بر مقاومت طبیعی شیشه دارد. اندازه گیری مقاومت طبیعی یك رشته در نیتروژن مایع با کاهش نفوذ رطوبت بهترین دلیل برای این موضوع است. نتایج نشان می دهد در رطوبت نسبی ۵۰% در دمای اتاق مقاومت بین۵۰% تا ۱۰۰% افزایش می یابد. استحکام حداکثر S-2 Glass در دمای نیتروژن مایع ۱۱/۶ GPa برای یك رشته به طول ۱۲/۷ mm و قطر ۱۰ mm میباشد. کاهش استحکام شیشه در معرض رطوبت تحت بار خارجی به عنوان خستگی استاتیك شناخته میشود. استحکام طبیعی الیاف شیشه هنگامی که در برابر افزایش دما قرار می گیرد، کاهش می یابد. E-Glass و S-2Glass در دمای ۵۳۸° C (۱۰۰۰° F) تقریباً ۵۰% از استحکام طبیعی خود در دمای اتاق را حفظ می کنند.

مدول الاستیسیته یانگ برای الیاف شیشه سیلیکاتی حدودا بین ۵۲ تا ۸۷ گیگاپاسکال میباشد. برای الیاف آنیل نشده مدول یانگ به تدریج افزایش می یابد. در الیاف E-Glass آنیل شده که ساختار اتمی آن فشرده تر شده است مدول یانگ از ۷۲ GPa به ۸۴/۷ GPa افزایش می یابد. برای بیشتر شیشه های سیلیکاتی ضریب پواسان بین ۰/۲۶- ۰/۱۵ قرار می گیرد.

ضریب پواسون برای E-Glass برابر ۰/۰۲ ± ۰/۲۲ میباشد و با افزایش دما تا ۵۱۰ ° C تغییری در آن مشاهده نشده است. الیاف شیشه مقاوم S-2 Glass که آنیل شده اند در دمای ۲۰° C دارای خواص اندازه گیری شده زیر میباشند:

مدول یانگ ۹۳/۸ GPa

مدول برشی ۳۸/۱ GPa

ضریب پواسون ۰/۲۳

دانسیته توده انباشته ۲/۴۸۸ gr/cc

۲-۳- مقاومت شیمیایی

مقاومت شیمیایی الیاف شیشه در برابر خوردگی و شستشو به وسیله اسیدها، بازها و آب بر حسب درصد کاهش وزن بیان میشود. هرچه این مقدار کوچکتر باشد مقاومت شیشه در برابر خوردگی و حلالیت بیشتر است. در مراحل آزمایش یك وزن معین از الیاف شیشه به قطر ۱۰ میکرون که آهارزنی نشده است در حجم مشخصی از یك حال خورنده در دمای ۹۶ درجه سانتیگراد قرار می گیرد. الیاف در حلال قرار گرفته و پس از زمان معینی از آن خارج شده و پس از شستشو خشك شده و وزن میشوند تا کاهش وزن بدست آید. نتایج در دو حالت ۲۴ ساعت (۱ شبانه روز) یا ۱۶۸ ساعت (۱ هفته)قرار گرفتن در حلال، گزارش میشود. مقاومت شیمیایی الیاف شیشه به ترکیبات الیاف، نوع حلال خورنده و زمان قرارگرفتن در حلال بستگی دارد.

قابل ذکر است که خوردگی شیشه در محیط های اسیدی یك فرآیند پیچیده است که در آغاز سرعت خوردگی زیاد است. (کاهش وزن در ۱ روز و ۱ هفته نزدیك یکدیگر است) در زمان طولانی تر یك مانع مؤثر در خوردگی شیشه ها این است که در سطح الیاف فقط مواد خالص باقی می ماند و سرعت خوردگی مواد ناخالص در لایه خالص پایین می آید. در ادامه سرعت خوردگی به نزدیك صفر می رسد به طوری که ترکیبات غیرسیلیسی از بین می روند.

برای یك تركیب مشخص از شیشه سرعت خوردگی به غلظت اسید، دما، قطر الیاف و نسبت حجم حلال به جرم شیشه بستگی دارد. در محیط های قلیایی به علت اثرات قلیایی شبكه و همچنین ته نشین شدن اكسیدهای فلزی اندازه گیری كاهش وزن معقول تر میباشد. مقاومت كششی شاخص بهتری برای خواص الیاف شیشه ته نشین بعد از ۲۴ ساعت قرار گرفتن در حلال در دمای C ° ۹۶ میباشد.

خواص الكتریكی

خواص الكتریكی برای یك توده شیشه آنیل شده مطابق مراحل آزمایش ذكر شده میباشد. ثابت دی الكتریك برابر نسبت ظرفیت خازنی یك نمونه بر نسبت ظرفیت خازنی خلا میباشد، ظرفیت خازنی برابر قابلیت مواد برای ذخیره سازی شارژ الكتریكی میباشد. مقادیر permittivity به فركانس تست، دما، ولتاژ، رطوبت نسبی و فرسایش در اثر هوا بستگی دارد. فاكتور اتلاف یك دی الكتریك برابر نسبت مقاومت ظاهری موازی به مقاومت موازی یا تانژانت زاویه كاهش است كه همچنین معكوس فاكتور كیفیت و هنگامی كه مقادیر كوچك است تانژانت زاویه كاهش برابر فاكتور توان یا سینوس زاویه كاهش است، میباشد. فاكتور توان برابر نسبت توان تلف شده برحسب وات بر ولت- آمپر مؤثر است. فاكتور ولت بدون بعد میباشد. تقریباً در تمامی كاربردهای الكتریكی یك ضریب اتلاف پایین مطلوب میباشد كه باعث كاهش ایجاد گرما و اعوجاج در مواد میشود. فاكتور اتلاف معمولاً همزمان با اندازه گیری permittivity اندازه گیری میشود و به مقدار زیادی تحت تأثیر فركانس، رطوبت، دما و غوطه وری در آب میباشد. فاكتور كاهش یا اندیس كاهش در بعضی موارد با فاكتور اتلاف یا تانژانت اتلاف اشتباه گرفته میشود. در واقع فاكتور كاهش محصولی از فاكتور اتلاف permittivity و همچنین متناسب با كاهش انرژی در دی الكتریك میباشد. تفكیك ولتاژ دی الكتریك برابر ولتاژی است كه در شرایط آزمایش تعیین شده در یك ماده الكتریكی عایق شده قرار گرفته بین دو الكترود ایجاد میشود. هنگامی كه ضخامت ماده عایق شده بین الكترودها دقیقا اندازه گیری شده نسبت تفكیك ولتاژ دی الكتریك برای ضخامت نمونه به عنوان مقاومت دی الكتریك برحسب kv/cm بیان میشود. تفكیك ولتاژ تحت تاثیر شكل هندسی الكترود، ضخامت نمونه (زیرا مقاومت دی الكتریك با ریشه دوم ضخامت نسبت معكوس دارد)، دما، زمان اعمال ولتاژ، فركانس، محیط واسطه، رطوبت نسبی، غوطه وری در آب، خواص جهت دار در پلاستیك های چندلایه و غیرهمگن میباشد.

خواص حرارتی

ویسكوزیته شیشه با افزایش دما كاهش می یابد. در ویسكوزیته های مساوی دمای S-2 Glass بین ۱۵۰ تا ۲۶۰ درجه سانتیگراد از E-Glass بالاتر است از این رو دمای كار آن از E-Glass بالاتر است. نقطه نرمی، دمایی است كه در آن لیف شیشه تحت وزن خودش كشیده شده و قطر آن كم میشود (استاندارد ASTM C 338). این حالت تقریبا در ویسكوزیته 10^6/6Pa.s رخ می دهد، نقطه آنیلینگ دمای متناظر تا هریك از دو سرعت ویژه باریك شدن تحت وزن خود شیشه هنگامی كه با استاندارد ASTM C336 سنجیده میشود یا سرعت ویژه نقطه میانی شكست یك تیر شیشه ای وقتی با استاندارد ASTM C598 اندازه گیری میشود، میباشد. در نقطه آنیلینگ تنش های داخلی به طور قابل

توجهی در ظرف دقایقی کاهش می یابد. در نقطه آنیلینگ ویسکوزیته تقریباً برابر 10^12 Pa.s است. در نقطه کرنش با هر دو استاندارد ASTM C336 یا ASTM C598 که برای نقطه آنیلینگ توضیح داده شده اندازه گیری میشود. در نقطه کرنش شیشه، تنش های داخلی به طور قابل توجهی در ظرف ساعاتی کاهش می یابد. ویسکوزیته در نقطه کرنش حدوداً برابر 10^13/5 Pa.s است.

اندازه گیری انبساط قطعات آنیل شده تحت استاندارد ASTM D696 میباشد. یك ضریب انبساط گرمایی پایین تر در شیشه های با استحکام بالا اجازه پایداری ابعاد در دمای حداکثر را می دهد.

اطلاعات گرمایی ویژه با خواندن های متوالی در دماهای بالا بوسیله روشهای کالریمتری ثبت شده است. عموماً ظرفیت گرمایی ویژه میانگین 0/94kj / gk°k در دمای 200°c و در 1/12kj / gk° k در نزدیکی دمای ذوب درنظر گرفته میشوند. در حالت مایع این مقدار 1/40kg/kj میباشد. این مقادیر با تقریباً ۵%± دقیق میباشند. بالاتر از نقطه ذوب افزایش بیشتری در ظرفیت گرمایی ویژه مشاهده نمیشود. نقطه ذوب تقریبا برابر دمای آنیلینگ برای توده شیشه است. مشخصات هدایت گرمایی در شیشه ها به طور قابل توجهی با مواد کریستالی تفاوت می کند. برای شیشه ها هدایت گرمایی از مواد کریستالی متناظر پایین تر است. همچنین هدایت گرمایی شیشه ها با کاهش دما به صورت پایدار کاهش می یابد تا به مقادیر بسیار پایین می رسد (تقریبا نزدیك به صفر مطلق). برای کریستال ها هدایت گرمایی با کاهش دما افزایش می یابد تا هنگامی که به کوچکترین دمای قابل دسترسی برسیم. اطلاعات هدایت گرمایی شیشه ها در میان مواد معمولی شناخته شده متنوع میباشد. در دمای اتاق عموماً شیشه های ترکیب شده از سیلیس و شیشه های سیلیکاتی قلیایی هدایت گرمایی مشابهی دارند درحالیکه شیشه های حاوی سرب و باریوم هدایت گرمایی پایین تری دارند. در نزدیکی دمای اتاق هدایت گرمایی طیف 0/55w/m°k برای سیلیکات سرب (۸۰% و ۲۰% دی اکسید سیلیس) تا 1/4w/m°k برای ترکیبات سیلیسی شیشه را در بر می گیرد. فردی بنام راتکلیف ضرایب را برای پیش بینی ضرایب هدایت گرمایی برای درصدهای وزنی اکسیدهای تشکیل دهنده شیشه، توسعه داد. برپایه این محاسبه هدایت گرمایی در نزدیکی دمای اتاق، برای C-Glass، 1/1w/m°k برای E-Glass، 1/3w/m°k و برای S-2Glass، 1/45w/m°k به طور تقریبی به دست می آید.

خواص اپتیکی

ضریب شکست نور برای هر دو نوع آنیل شده و آنیل نشده از الیاف محاسبه میشود. استاندارد غوطه وری در سدیم تك رنگ (D light) در دمای 25°c مورد استفاده قرار می گیرد. عموماً شیشه آنیل شده تقریباً بین ۱/۰۰۳ تا ۱/۰۰۶ مقادیر بالاتری را از شیشه های معمولی به ما ارائه می دهند.

خواص تشعشعی

S-2Glass , E-Glass مقاومت عالی در برابر همه انواع تشعشعات هسته ای از خود بروز می دهند. تشعشعات آلفا و بتا تقریباً هیچ اثری ندارند. درحالیکه تشعشعات گاما و بمباران نوترونی بین ۵ تا ۱۰ درصد کاهش مقاومت کششی، کمتر از ۱۰ درصد کاهش چگالی و به مقدار ناچیزی رنگ زدایی در پی دارند. این اطلاعات برای نوترونها تا 10^20 NVT و برای تشعشعات گاما تا 10^5 J/G معتبر میباشد. الیاف شیشه در برابر تشعشع مقاومت می کنند زیرا شیشه بدون شکل است و تشعشع

آرایش اتمی آن را به هم نمی ریزد. همچنین شیشه میتواند درصد کمی مواد خارجی را جذب کرده و تا حد قابل قبولی خواص خود را حفظ کند.

مزایای کامپوزیت های الیافی

کامپوزیت الیافی

کاربردهای کامپوزیت الیاف شیشه به کارگیری مناسب ترکیبات شیشه، آهار، جهت الیاف و حجم الیاف برای دربرداشتن خواص مکانیکی، الکتریکی، حرارتی و دیگر خواص مطلوب بستگی دارد.

ماندگاری محیطی

ماندگاری کامپوزیت ساخته شده از الیاف شیشع یکی از خصیصه هایی است که استفاده کنندگان را به آنها جذب می کند. کامپوزیت ها مانند فلزات خورده نمیشوند و موادی هستند که احتیاج به نگهداری کمی دارند. به هرحال ماندگاری و اعتبار در کاربردهای ویژه اغلب مطلوب طراحان میباشند. در ساختار یاتاقانهای تحت بار، رفتار طولانی مدت مواد فاکتور مهمی برای طراحی میباشد. چه مقدار بار توسط یك سازه میتوان در یك مدت زمان نگهداشت؟ یا برای نگهداشتن یك مقدار بار در یك مدت زمان چه ضخامتی لازم است؟ پاسخ این سؤالات معمولاً تجربی است و با آزمایش شتاب داده شده بدست می آید. ASTM D2992 , ASTM D3681 دو روشی هستند که معمولا به کمك هم عملا به ارزیابی طراحی لوله کامپوزیتی می پردازند. در این روش ها نمونه های واقعی محصولات و بارها و محیط شبیه سازی شده برای محصولات تولید میشود. برای آزمایش شتاب داده شده، بارها اهمیت بیشتری نسبت به شرایط عملیاتی در غلبه بر عدم موفقیت در یك زمان کوتاه دارند. برون یابی اطلاعات مختصر حاصل از آزمایش ها برای طول عمر قابل انتظار محصولات به مهندسین اجازه می دهد تا بارها و تنش های عملیاتی مطمئن را طراحی کنند. این روال طی بیش از ۳۰ سال به خوبی در صنعت کامپوزیت به کار گرفته شده است.

برای اثبات این فرآیند، نتایج آزمایش های مختلف گزارش شده اند این آزمایش ها بر روی میله های پالترود شده ساخته شده از الیاف شیشه و رزین ترموست است. این آزمایش ها شبیه مراجع در ASTM است به غیر از شرایط کشش خالص میباشد و کمتر از یك بار ثابت است.

به عنوان مرجع، مقاومت کششی داخلی یك میله کامپوزیت 2070MPa بود. رفتار تنش گسیختگی یك میله S-2Glass اپوکسی در این آزمایش نشان می دهد یك تنش طولانی مدت ۶۵% از تنش کشش های داخلی را دارا میباشد.

یك آزمایش ثانویه تنش گسیختگی کامپوزیت S-2Glass , E-Glass با رزین اپوکسی درمحیط با PH بالا قرار گرفته، مقایسه شده است. میله S-2Glass کامپوزیت تقویت شده تنش کشش داخلی بالاتری نسبت به میله تقویت شده با E-Glass دارد. تاثیر ترکیب شده تنش و محیط برای هر دو ماده مشابه است.

منبع: فصلنامه کامپوزیت