



گروه مهندسی متالورژی و مواد - گرایش شناسایی و انتخاب مواد

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد

اثر اصلاح سطح الیاف شیشه بر خواص مکانیکی کامپوزیت زمینه اپوکسی

اساتید راهنما:

دکتر احد ضابط

دکتر سمانه صاحبیان سقی

نگارش:

شیرین پور حسینی

شهریور ۱۳۹۶

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

که در تمامی مراحل زندگی حامی و مشوقم بودند

و تقدیم به

تمامی جوانندگان علم

سپاس‌گزاری

سپاس خدائی را که اول است و پیش از او اولی نبوده و آخر است و پس از او آخری نباشد. خدائی که دیده‌های بینندگان از دیدنش ناتوانند و اندیشه‌های وصف‌کنندگان از عهده‌ی وصفش برنایند. به قدرت و توانائی خود آفریدگان را آفرید و در راه محبت و دوستی به خود برانگیخت و از رزقی که عطا فرموده هر جاننداری را روزی معلومی قرار داده است. پس از آن برای او در زندگی مدتی معلوم تعیین و پایانی معین قرار داده که با روزهای زندگیش به سوی آن پایان گام برمی‌دارد و با سالهای روزگارش به آن نزدیک می‌شود تا چون به پایش نزدیک شود او را به آنچه خوانده از پاداش یا کیفر خود فرا گیرد. سپاس خدای را که خویشتن را به ما شناساند و شکر و سپاس خود را به ما الهام نمود و درهای علم به ربوبیت و پروردگاریش را بر ما گشود و بر اخلاص در توحید و یگانگیش راهنمائی مان فرمود.

دوست دارم پس از سپاس‌گزاری از الله عزیزم از همه عزیزانی که در این راه کنارم بودند تشکر کنم. استادان راهنمای عزیزم جناب آقای دکتر ضابط و خانم دکتر صاحبیان بابت تمامی زحماتتان و راهنمایی‌های بی دریغ تان ممنونم. درس‌هایی که از شما آموختم فراتر از علم اندوزیست بلکه درس زندگیست.

استاد عزیز، آقای دکتر ضابط از شما آموختم که در تمامی کارها "اتقن" باشیم و این دعای ما باشد که از خدا بخواهیم ما را به بهترین شکل به کار گیرد، از شما بسیار ممنونم.

استاد عزیز، خواهر مهربان، خانم دکتر صاحبیان عزیزم حس قدردانی که دارم با جملات بیان کردنی نیست. همیشه در کنارم بودید با صبوریتان با مهربانیتان. حتی یک قدم بدون راهنمایی‌های شما امکان پذیر نبود. بی‌نهایت از زحمات شما ممنونم و بسیار عزیز هستید.

هم‌چنین تشکر می‌کنم از اساتید عزیز جناب آقای دکتر سجادی و خانم دکتر ملازاده که داوری پایان‌نامه را بر عهده گرفتند.

نوبت می‌رسد به بزرگواران و مسئولین در پژوهشکده هوا و خورشید که از تک‌تک راهنمایی‌هایشان بسیار آموختم. آقای دکتر ایزدی، آقای ولی‌زاده، آقای نظیف، آقای افسری و آقای دانش بسیار از شما بزرگواران سپاس‌گزارم.

اما دو همدم و هم‌درس، فرناز و زهرای عزیزم لحظات خوشی که در کنار شما گذشت برایم ناب‌ترین خاطره‌ها خواهد شد. ممنون از اینکه همیشه بودید.

تشکر می‌کنم از بستگانم، بابت لبخند پرمهرتان. برای همه‌ی دور هم جمع شدن‌هایتان، ممنون.

و در نهایت تشکر می‌کنم از مادر و پدر عزیزتر از جانم. از خود گذشتگی‌های شما، دعا‌های شما بالاترین نعمت‌هاست برای من. زحمات شما جبران کردنی نیست. همیشه شادی در دلتان و لبخند بر لبان فرشته‌های زمینی.

شیرین پورحسینی

تابستان ۱۳۹۶

چکیده

یکی از ابزارهای مهم در بهره‌برداری از منابع تجدیدپذیر، توربین بادی می‌باشد. درصد قابل توجهی از مواد به کار رفته در ساخت پره‌های توربین بادی از کامپوزیت‌های پلیمری تشکیل شده است. یکی از مباحث کلیدی در فراوری مواد کامپوزیتی پلیمری، توزیع پذیری مطلوب فاز ثانویه و ایجاد فصل مشترکی چسبنده می‌باشد. در تحقیق حاضر، کامپوزیت اپوکسی/الیاف شیشه به منظور بررسی اثر روش‌های مختلف اصلاح سطح روی الیاف شیشه و تاثیر آن بر روی خواص مکانیکی کامپوزیت مورد مطالعه قرار گرفت. الیاف شیشه یک جهت با و بدون اسیدشویی در حضور سیلان، اصلاح سطح شدند. سیلان مورد استفاده ۷-آمینوپروپیل تری اتوکسی سیلان بوده و با ۰/۵ درصد وزنی در محلول آبی اتانول و آب به روش شیمی‌تر بر روی الیاف اعمال شد. هم‌چنین الیاف‌های اسیدشویی شده با ۱۰٪ محلول اسید هیدروکلریک (HCl)، قبل از مرحله‌ی اعمال سیلان به منظور افزایش میزان پیوند Si-OH روی سطح الیاف آماده شدند. ارزیابی سطح الیاف اصلاح شده با کمک آزمون‌های طیف سنجی مادون قرمز FTIR و آنالیز وزن سنجی حرارتی TGA مورد بررسی قرار گرفت. با کمک آزمون TGA میزان گروه‌های عاملی برای نمونه‌های اصلاح شده با سیلان کمتر از ۰/۳۵ درصد وزنی و برای نمونه‌های اسیدشویی شده، حدود ۰/۸ درصد وزنی بدست آمد. نمونه‌های کامپوزیتی با روش نفوذ رزین به کمک خلأ (VIP) ساخته شده و مورد آزمون استحکام برشی نمونه کوتاه و آزمون کشش، به منظور بررسی اثر بخشی اصلاح سطح قرار گرفت. نتایج آزمون برشی نشان دهنده بهبود ۱۸/۳۳ درصدی استحکام چسبندگی فصل مشترک در حضور سیلان و با افزایش میزان گروه عاملی در نمونه‌های اسیدشویی افت استحکام چسبندگی مشاهده شد. هم‌چنین افزایش ضخامت فصل مشترک نمونه‌های اسیدشویی شده و آسیب سطحی الیاف، منجر به افت ۳۲/۵٪ استحکام کششی و ۳۸/۸٪ مدول شده‌است. با توجه به تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی SEM، در نمونه‌های اصلاح سطح شده تخریب سطحی در الیاف‌های اسیدشویی شده مشاهده می‌شود و هم‌چنین چسبنده بودن فصل مشترک نمونه‌های سیلان‌دار در نمونه‌های کامپوزیتی قابل رویت است.

کلمات کلیدی: کامپوزیت، اپوکسی، الیاف شیشه، سیلان، پره توربین بادی.

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه.....	۴
فصل دوم: مروری بر منابع.....	۱۰
۱-۲ - مقدمه.....	۱۱
۲-۲ - زمینه پلیمری.....	۱۲
۳-۲ - تقویت کننده‌ها.....	۱۵
۱-۳-۲ - الیاف شیشه.....	۱۶
۲-۳-۲ - سائزینگ.....	۲۰
۴-۲ - فصل مشترک و فاز میانی.....	۲۷
فصل سوم: مواد و روش پژوهش.....	۴۶
۱-۳ - مقدمه.....	۴۷
۲-۳ - مواد.....	۴۷
۳-۳ - آماده‌سازی نمونه.....	۵۱
۱-۳-۳ - فرآیند اصلاح سطح.....	۵۱
۲-۳-۳ - تهیه نمونه‌های کامپوزیت اپوکسی/الیاف شیشه.....	۵۷
۴-۳ - روشهای مشخصه‌یابی.....	۶۳
۱-۴-۳ - طیف سنجی فوریه مادون قرمز.....	۶۴
۲-۴-۳ - آنالیز وزن سنجی حرارتی.....	۶۴

۶۵	۳-۴-۳ - آزمون استحکام برشی نمونه‌ی کوتاه.....
۶۷	۳-۴-۴ - آزمون کشش.....
۶۷	۳-۴-۵ - میکروسکوپ الکترونی روبشی.....
۶۸	فصل چهارم: نتایج و بحث.....
۶۹	۴-۱ - مقدمه.....
۶۹	۴-۲ - بررسی شرایط مختلف اصلاح سطح الیاف شیشه.....
۷۰	۴-۲-۱ - الیاف شیشه با سائزینگ تجاری.....
۷۴	۴-۲-۲ - حذف سائزینگ با اعمال حرارت.....
۷۹	۴-۲-۳ - بررسی فرآیند اسیدشویی الیافشیشه.....
۸۱	۴-۲-۴ - بررسی فرآیند اعمال سیلان بر روی سطح الیاف شیشه.....
۸۶	۴-۲-۵ - بررسی تصاویر میکروسکوپی الکترونی روبشی الیاف اصلاح شده.....
۹۱	۴-۳ - بررسی خواص مکانیکی کامپوزیت الیاف شیشه/اپوکسی.....
۹۲	۴-۳-۱ - آزمون استحکام برشی نمونه کوتاه.....
۹۵	۴-۳-۲ - بررسی آزمون کشش.....
۱۰۰	۴-۳-۳ - بررسی تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی کامپوزیت زمینه اپوکسی.....
۱۰۳	فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها.....
۱۰۴	۵-۱ - نتیجه‌گیری.....
۱۰۵	۵-۲ - پیشنهادها.....

١٠٦مراجع

فهرست جدول‌ها

جدول ۱-۲: ترکیب شیمیایی انواع الیاف شیشه.....	۱۷
جدول ۲-۲: فرمولاسیون متداول برای سائزینگ الیاف شیشه.....	۲۶
جدول ۳-۲: سیلان‌های مورد استفاده در کامپوزیت‌های زمینه پلیمری.....	۳۲
جدول ۴-۲: خواص کششی کامپوزیت.....	۴۱
جدول ۱-۳: مشخصات رزین اپوکسی و اپوکسی خالص مورد استفاده در پژوهش حاضر.....	۴۸
جدول ۲-۳: نامگذاری نمونه‌های الیاف شیشه اصلاح شده.....	۵۶
جدول ۳-۳: مشخصات نمونه کامپوزیتی ساخته شده در پژوهش حاضر.....	۵۸
جدول ۴-۳: نامگذاری نمونه‌های کامپوزیت اپوکسی/الیاف شیشه.....	۶۰
جدول ۵-۳: جدول محاسبات دانسیته نمونه‌های کامپوزیتی اپوکسی/الیاف شیشه.....	۶۱
جدول ۶-۳: محاسبه درصد وزنی رزین اپوکسی و الیاف شیشه در نمونه‌های کامپوزیتی.....	۶۲
جدول ۱-۴: میزان افت وزنی نمونه GF بر حسب دما با استفاده از آزمون وزن سنجی حرارتی.....	۷۳
جدول ۲-۴: میزان افت وزنی نمونه UGF-۳۰۰ بر حسب دما براساس نتایج TGA.....	۷۸
جدول ۳-۴: میزان افت وزنی نمونه GFTS و UGFTS بر حسب دما با نتایج TGA.....	۸۳
جدول ۴-۴: میزان افت وزنی نمونه AA و UAATS بر حسب دما با نتایج TGA.....	۸۶
جدول ۵-۴: مشخصات نمونه‌های کامپوزیت.....	۹۲
جدول ۶-۴: نتایج آزمون استحکام برشی نمونه کوتاه.....	۹۴
جدول ۷-۴: نتایج تجربی آزمون کشش برای نمونه کامپوزیت Co-GF.....	۹۶
جدول ۸-۴: نتایج تجربی آزمون کشش برای نمونه کامپوزیت Co-GFTS.....	۹۷

جدول ۹-۴: نتایج تجربی آزمون کشش برای نمونه کامپوزیت Co-AATS..... ۹۸

جدول ۱۰-۴: نتایج نرماله شده با قانون مخلوط‌ها..... ۹۹

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۲: واکنش تهیه‌ی رزین اپوکسی ۱۴
- شکل ۲-۲: ساختار الیاف شیشه بر پایه SiO_2 ۱۷
- شکل ۳-۲: فرآیند تولید الیاف شیشه به روش مستقیم ۱۹
- شکل ۴-۲: مراحل اعمال سائزینگ و پوشش نهایی ۲۲
- شکل ۵-۲: فاز میانی میان الیاف شیشه/پلیمر ۲۸
- شکل ۶-۲: تصویر شماتیک استفاده از سیلان در کامپوزیت زمینه پلیمری ۳۰
- شکل ۷-۲: پل‌های آلکیلی متفاوت در ساختار آمینوسیلان، الف) پل آلکیلی متیل ب) پل آلکیلی پروپیل ج) اثر آفل در پل آلکیلی متیل ۳۳
- شکل ۸-۲: تشکیل پیوند حلقوی بین گروه آمین و گروه سیلانول ۳۴
- شکل ۹-۲: تصویر شماتیک ساختارهای T^1 سیلان ۳۶
- شکل ۱۰-۲: واکنش میان سیلان و فاز تقویت کننده الف) واکنش هیدرولیز ب) واکنش متراکم شدن ج) واکنش جذب د) واکنش گیرش ۳۹
- شکل ۱۱-۲: ساختار احتمالی شیمیایی سطح الیاف شیشه در حضور اصلاح کننده‌های شیمیایی ۴۰
- شکل ۱۲-۲: واکنش APS با پلیمر اپوکسی ۴۰
- شکل ۱۳-۲: تصاویر SEM الیاف اصلاح شده با الف) آب ب) γ -GPS ج) γ -MPS د) γ -APS/پارافین/اورتان ه) اورتان ۴۲
- شکل ۱۴-۲: ILSS و K_{IC} کامپوزیت در اثر حضور در صد وزنی γ -GPS متفاوت ۴۳

- شکل ۲-۱۵ : تصاویر SEM کامپوزیت در الف) الیاف شیشه تجاری ب) ۰/۲ درصد وزنی ج) ۰/۴ درصد وزنی د) ۰/۸ درصد وزنی γ -GPS ۴۴
- شکل ۲-۱۶ : تصاویر SEM الیاف شیشه الف) الیاف شیشه بدون سایزینگ تجاری ب) اصلاح سطح با γ -APS ج) اصلاح سطح با γ -GPS ۴۵
- شکل ۳-۱ : الیاف شیشه یک جهته بافته شده مورد استفاده در پژوهش ۴۹
- شکل ۳-۲ : الف) نمودار تغییرات وزن بر حسب دما APTES ب) نمودار طیف سنجی FTIR سیلان ۵۰
- شکل ۳-۳ : الف) ساختار شیمیایی APTES ب) واکنش گروه‌های اتوکسی با گروه‌های هیدروکسیل موجود در زیرلایه ۵۱
- شکل ۳-۴ : فلوچارت روش‌های اصلاح سطح الیاف شیشه ۵۳
- شکل ۳-۵ : نمودار تغییرات وزن بر حسب دما برای الیاف شیشه با سایزینگ تجاری ۵۴
- شکل ۳-۶ : تصویر شماتیک اصلاح سطح الیاف شیشه در طی فرایند اسیدشویی ۵۵
- شکل ۳-۷ : نمودار طیف سنجی FTIR واکنش هیدرولیز سیلان ۵۷
- شکل ۳-۸ : مراحل ساخت نمونه کامپوزیت اپوکسی تقویت شده با الیاف شیشه ۵۹
- شکل ۳-۹ : فلوچارت آزمون‌های انجام شده برای نمونه‌های کامپوزیتی و الیاف‌ها ۶۴
- شکل ۳-۱۰ : شماتیک آزمون برشی نمونه کوتاه ۶۶
- شکل ۳-۱۱ : آزمون استحکام برشی نمونه‌ی کوتاه ۶۶
- شکل ۴-۱ : نمودار طیف سنجی FTIR نمونه GF ۷۲
- شکل ۴-۲ : نمودار طیف سنجی FTIR نمونه‌های GF، 300UGF و 500UGF ۷۶

- شکل ۴-۳: نسبت پیک‌ها در بازه ۱۴۰۰/۱۰۰۰ در نمودار طیف سنجی FTIR نمونه‌های الیاف شیشه با ساینینگ و الیاف حرارت داده شده..... ۷۷
- شکل ۴-۴: نمودار تغییرات وزن بر حسب دما نمونه‌های 300UGF-..... ۷۸
- شکل ۴-۵: نمودار طیف سنجی FTIR نمونه‌های AA و UAA..... ۸۰
- شکل ۴-۶: نمودار طیف سنجی FTIR نمونه‌های GFTS و UGFTS..... ۸۲
- شکل ۴-۷: نمودار تغییرات وزن بر حسب دما نمونه‌های GFTS و UGFTS..... ۸۳
- شکل ۴-۸: نمودار طیف سنجی FTIR نمونه‌های AATS و UAATS..... ۸۴
- شکل ۴-۹: نسبت پیک Si-O-Si/Si-OH مشاهده شده در نمودار طیف سنجی FTIR نمونه‌های AA و AATS اسیدشویی..... ۸۵
- شکل ۴-۱۰: نمودار تغییرات وزن بر حسب دما نمونه‌های AA و UAATS..... ۸۵
- شکل ۴-۱۱: تصاویر SEM نمونه‌های الف) UGF ب) GF ج) UAA در بزرگنمایی ۲۵۰۰ و ۸۰۰۰..... ۸۹
- شکل ۴-۱۲: تصاویر میکروسکوپی SEM نمونه‌های الف) UGFTS ب) UAATS ج) GFTS..... ۹۰
- شکل ۴-۱۳: نمودارهای نیرو-جاب‌جایی نمونه‌های UGF، GF، GFTS و AATS..... ۹۳
- شکل ۴-۱۴: تغییر ILSS برای نمونه‌های کامپوزیتی اپوکسی/الیاف شیشه..... ۹۵
- شکل ۴-۱۵: نمودار نتایج آزمون کشش برای نمونه‌های کامپوزیتی..... ۹۹
- شکل ۴-۱۶: تصاویر میکروسکوپی SEM نمونه‌های کامپوزیتی الف) Co-GF ب) Co-GFTS ج) Co-..... ۱۰۲
- AATS.....

فصل اول

مقدمه