دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی نساجی

بررسی تاثیر نانوویسکرهای SiC بر روی خواص فیزیکی و مکانیکی نانوکامپوزیت SiC/Epoxy و مقایسه تاثیر نانوذرات با میکروذرات SiC

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی نساجی

گرایش شیمی و علوم الیاف

محمدرضا نعیمی راد

استاد راهنما

دکتر علی زادهوش

۱۳۹۰

بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی نساجی

بررسی تاثیر نانوویسکرهای SiC بر روی خواص فیزیکی و مکانیکی نانوکامپوزیت SiC/Epoxy و مقایسه تاثیر نانوذرات با میکروذرات SiC

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی نساجی

گرایش شیمی و علوم الیاف

محمدرضا نعیمی راد

استاد راهنما

دکتر علی زادهوش

۱۳۹۰

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی نساجی

پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی نساجی – شیمی آقای محمدرضا نعیمی راد

تحت عنوان

بررسی تاثیر نانوویسکرهای SiC بر روی خواص فیزیکی و مکانیکی نانوکامپوزیت SiC/Epoxy و مقایسه تاثیر نانوذرات با میکروذرات SiC

در تاریخ ۱۳۹۰/۰۱/۳۱ توسط کمیته‌ی تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر علی زادهوش
۲- استاد مشاور پایان‌نامه	مهندس رسول اسمعیلی
۳- استاد داور	دکتر محمود معصومی
۴- استاد داور	دکتر مصطفی یوسفی
سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر سعید آجلی

در ابتدا بر خود لازم می‌دانم که از راهنمایی‌ها و زحمات استاد عزیزم جناب آقای دکتر زادهوش و نیز زحمات آقای مهندس اسمعیلی تشکر نمایم.
از آقایان دکتر معصومی و دکتر یوسفی نیز که زحمت داوری این پایان‌نامه را به عهده گرفتند تشکر می‌نمایم. از زحمات سرپرست تحصیلات تکمیلی، جناب آقای دکتر آجلی نیز کمال تشکر را دارم. هم‌چنین از همکاری مسئولین شرکت صنایع هواپیماسازی ایران به‌خصوص بخش مهندسی غیرفلزی صنعت ساخت بالگرد در انجام این تحقیق سپاس‌گذاری می‌نمایم.

کلیه‌ی حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه (رساله) متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

تقدیم به:

پدر و مادر عزیزم

که همه مهرند و وفا، همه لطفند و صفا . . .

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب ..... هشت

چکیده ۱

فصل اول: مقدمه و نظری

۱-۱ انواع کامپوزیت ها ۲

۱-۲ کاربرد کامپوزیت ۳

۱-۳ مزایای خاص کامپوزیت ۶

۱-۴ معایب کامپوزیت ۸

۱-۵ کامپوزیت های ذره ای ۹

۱-۶ مقدمه ای در مورد نانو ۱۰

۱-۷ نانوکامپوزیت ها ۱۲

۱-۸ اجزای اصلی نانوکامپوزیت ها ۱۳

۱-۸-۱ زمینه های پلیمری ۱۳

۱-۸-۲ زمینه های گرماسخت ۱۵

۱-۹ رزین های اپوکسی ۱۶

۱-۹-۱ تهیه رزین های اپوکسی ۱۸

۱-۹-۲ پخت رزین های اپوکسی ۲۰

۱-۱۰ معرفی سیلیسیم کاربید ۲۲

۱-۱۱ خواص فیزیکی و مکانیکی سیلیسیم کاربید ۲۳

۱-۱۲ کاربردهای سیلیسیم کاربید ۲۳

۱-۱۳ نانوویسکرهای SiC ۲۴

۱-۱۴ روابط مکانیکی حاکم بر کامپوزیت های ذره ای ۲۵

۱-۱۴-۱ مدول یانگ ۲۵

۱-۱۴-۲ استحکام ۲۹

۱-۱۴-۳ چقرمگی ۳۳

۱-۱۵ روابط مکانیکی حاکم بر کامپوزیت های الیاف کوتاه ۳۳

۱-۱۶ اصطکاک ۳۷

۱-۱۶-۱ اصطکاک ایستایی و جنبشی ۳۸

۱-۱۷ سایش ۳۹

۱-۱۸ تاثیر مافوق صوت بر توزیع نانوذرات ۳۹

۱-۱۹ مطالعات انجام شده بر تاثیر نانوذرات و میکروذرات سیلیسیم کاربید ۴۰

۱-۲۰ هدف از انجام پژوهش ۴۷

فصل دوم: تجربی

۲-۱ مواد مصرفی ۴۸
۲-۲ ساخت نمونه های نانوکامپوزیت ۵۰
۲-۳ ساخت نمونه ها جهت آزمایش ۵۳
۲-۴ آزمایش های انجام شده روی نمونه ها ۵۴
۲-۵ آزمایش های مکانیکی ۵۴
۲-۵-۱ آزمون کشش ۵۴
۲-۵-۲ آزمون خمش ۵۴
۲-۵-۳ آزمون سایش ۵۵
۲-۵-۴ آزمون سختی ۵۵
۲-۶ طیف سنجی ۵۶
۲-۶-۱ FT-IR ۵۶
۲-۶-۲ تفرق اشعه ایکس ۵۷
۲-۷ بررسی تصویری ۵۷
۲-۷-۱ SEM ۵۷
۲-۸ تحلیل حرارتی ۵۸

فصل سوم: بحث و نتیجه گیری

۳-۱ بررسی خواص مورفولوژی ۶۰
۳-۱-۱ تصاویر SEM ۶۰
۳-۱-۲ پراش پرتو ایکس ۶۱
۳-۱-۳ طیف FT-IR ۶۳
۳-۲ بررسی خواص فیزیکی ۶۶
۳-۲-۱ سختی ۶۶
۳-۳ بررسی خواص مکانیکی ۶۷
۳-۳-۱ نتایج آزمون کشش ۶۷
۳-۳-۲ نتایج آزمون خمش ۷۳
۳-۳-۳ بررسی و مقایسه با مدل های تئوری ۷۷
۳-۳-۴ بررسی آماری نتایج ۸۴
۳-۳-۵ خواص تریبولوژیکی ۸۹
۳-۴ بررسی خواص حرارتی ۹۱
۳-۴-۱ تحلیل گرماسنجی تفاضلی روبشی ۹۱

فصل چهارم: نتیجه‌گیری نهایی و پیشنهادات

۴-۱ نتیجه گیری نهایی ۹۲
۴-۲ پیشنهادات ۹۴
پیوست ۹۵
پ-۱- طیف های FT-IR تهیه شده از نانوکامپوزیت ها ۹۵

پ-۲- نمودارهای سایش ۹۶
پ-۳- طیف های DSC نمونه ها ۹۸
مراجع ۱۰۱

چکیده

SiC یا سیلیسیم‌کاربید یکی از ترکیبات دارای سختی و مدول بالا و دارای اهمیت در زمینه کامپوزیت و نیز الکترونیک می‌باشد. نانوویسکرهای SiC از جدیدترین محصولات این ماده است که تولید آن به سال‌های اخیر باز می‌گردد و هنوز کاربردی از آن در پلیمرها منتشر نشده است. با توجه به نسبت ابعادی بیشتر نانوویسکرها نسبت به نانوذرات، در این پژوهش با استفاده از رزین اپوکسی و پراکنش پرکننده سیلیسیم‌کاربید در سه نوع میکروذره، نانوذره و نانوویسکر توسط دستگاه مافوق صوت، کامپوزیت‌هایی در نسبت‌های ۰/۵، ۱، ۲ و ۴ درصد وزنی تهیه شد و تاثیر اندازه ذرات از میکروذره به نانوذره و نیز نسبت ابعادی از نانوذره به نانوویسکر بر خواص مختلف فیزیکی و مکانیکی توسط آزمون‌های کشش، خمش، سایش، سختی، DSC، FT-IR، XRD و SEM مورد بررسی قرار گرفت. پس از بررسی، این نتایج حاصل آمد که با انجام مافوق صوت، خواص مکانیکی حدود ۵ درصد افزایش می‌یابد، با افزودن میکروذرات، بیشترین خواص در نسبت وزنی ۱ درصد حاصل شد که شامل ۱۵ درصد افزایش مدول کششی و خمشی و حدود ۲۵ درصد افزایش استحکام کششی و خمشی بود. با افزودن بیشتر ذرات، کاهش خواص مکانیکی حاصل شد. در نانوکامپوزیت حاوی نانوذرات نیز به دلیل ابعاد کوچک‌تر ذرات و سطح مخصوص بیشتر، بالاترین خواص مکانیکی در نسبت وزنی ۱ درصد با افزایش ۱۷ درصدی مدول و ۲۷ درصدی استحکام حاصل شد و پس از آن کاهش خواص رخ داد. در کامپوزیت‌های حاوی نانوویسکر، بیشترین خواص کششی و خمشی در نسبت وزنی ۲ درصد با افزایش حدود ۳۵ درصدی مدول و استحکام حاصل شد و در نسبت وزنی ۴ درصد، دوباره کاهش خواص رخ داد. دلیل افزایش بیشتر خواص با افزودن نانوویسکر نسبت به نانوذرات، نسبت ابعادی بیشتر آن است که موجب تحمل تنش بیشتر می‌گردد. هم‌چنین نتایج حاصل از آزمون سایش، بهبود خواص سایشی و اصطکاکی را با افزودن ذرات SiC به رزین اپوکسی نشان می‌دهد، به‌طوری که کامپوزیت حاوی نانوذرات بهترین خواص سایشی را داشته و رزین شاهد کمترین خواص را نشان داد. دلیل خواص سایشی بهتر نانوذرات نسبت به نانوویسکر، شکل کروی آن و افزایش لغزندگی میان دو سطح است. نتایج حاصل از آزمون سختی و حرارتی تغییر چندانی در سختی و نیز دمای انتقال شیشه‌ای رزین با افزودن پرکننده نشان نداد.

کلمات کلیدی: ۱-سیلیسیم‌کاربید ۲-نانوکامپوزیت ۳-اپوکسی ۴-خواص مکانیکی

فصل اول

مقدمه و نظری

تعاریف زیادی برای کامپوزیت وجود دارد، طبق تعریف مهندسی کامپوزیت از کلمه Compose به معنای ترکیب کردن حاصل شده است و سه مشخصه زیر می‌تواند یک تعریف قابل قبول و مفید برای آن ارائه نماید.

- کامپوزیت از ترکیب دو یا چند ماده که به طور مکانیکی قابل جداسازی باشد تشکیل می‌شود.
- کامپوزیت از مخلوط‌سازی مواد جدا از هم به‌طوری که توزیع یک ماده در دیگری قابل کنترل باشد، برای به‌دست آوردن خواص بهینه ساخته می‌شود.
- کامپوزیت دارای خواص برتر نسبت به مواد تشکیل دهنده آن و در بعضی اوقات خواص منحصر به فرد خود است. هدف اصلی از ساخت کامپوزیت افزایش سفتی[1] می‌باشد[۱].

۱-۱ انواع کامپوزیت ها

دسته‌بندی کامپوزیت‌ها یا همان مواد مرکب بر اساس چند مبنا صورت می‌گیرد.

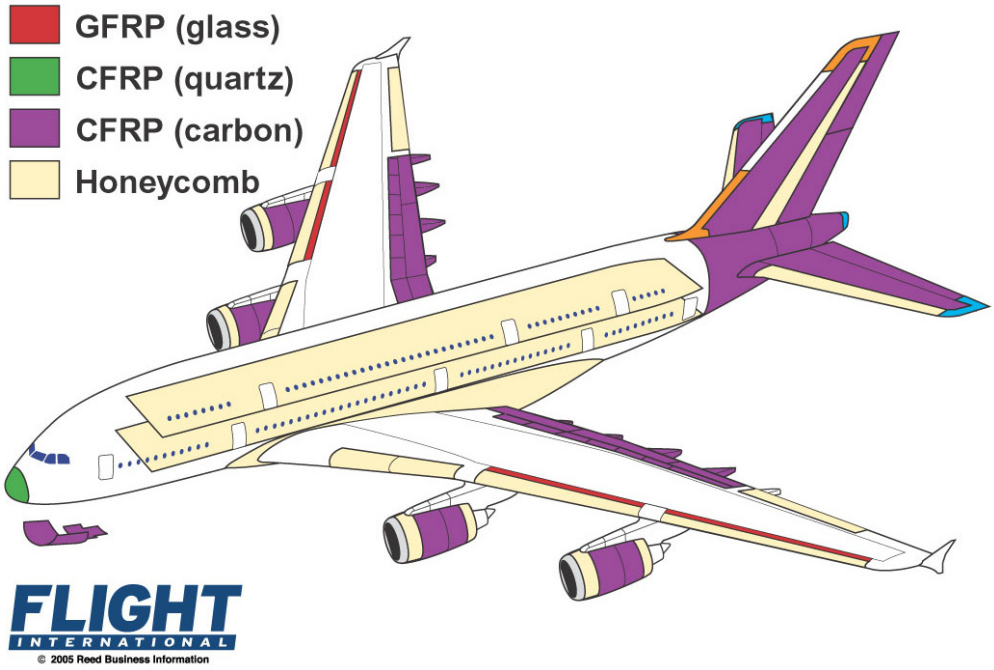
نوع ماتریس: بر این اساس کامپوزیت‌ها به چند دسته پایه پلیمری، پایه فلزی و پایه سرامیکی تقسیم می‌شوند. حتی در پایه پلیمری بر اساس نوع پلیمر به گرماسخت و گرمانرم تقسیم می‌گردند.

[1] Stiffness

نوع تقویت کننده: بر این اساس کامپوزیت‌ها به چند دسته لیفی، ذره‌ای و صفحه‌ای تقسیم می‌گردند[۱].
از کامپوزیت‌های مهم می‌توان به الیاف شیشه/رزین اپوکسی اشاره کرد.

۱-۲ کاربرد کامپوزیت

مواد مرکب به طور کلی جایگاه خود را در قالب مواد مهندسی مشخص نموده و در حال حاضر در نقاط مختلف دنیا به عنوان مواد معمولی بالاخص برای اهداف سازه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند. کاربردهای اولیه نظامی مواد مرکب زمینه‌ی پلیمری در طول جنگ جهانی دوم منجر به بهره‌برداری تجاری در مقیاس وسیع از این مواد مخصوصاً در صنعت زیردریایی در اواخر سالهای ۱۹۴۰ و اوایل ۱۹۵۰ گردید. امروزه صنایع هواپیماسازی، خودروسازی، ساخت وسایل ورزشی و سرگرمی، الکترونیک و پزشکی کاملاً به پلیمرهای تقویت‌شده‌ی لیفی وابسته می‌باشند و این‌گونه مواد مرکب به‌طور مرتب طراحی و ساخته شده و مورد استفاده قرار می‌گیرند. در شکل ۱-۱ اجزای کامپوزیتی هواپیمای ارباس ۳۸۰ نشان داده شده است [۲].



شکل ۱-۱- هواپیمای ارباس ۳۸۰ با اجزای کامپوزیتی آن [۲]

مواد مرکبی که خیلی نامتعارف نیستند مثل پلاستیک‌های حاوی ذرات و کانی‌های طبیعی به علت این‌که قیمت تمام شده پایینی دارند، در حد گسترده‌ای در صنایع مختلف به‌کار گرفته می‌شوند. برخی از موارد کاربرد مواد مرکب زمینه پلیمری نیز در جدول ۱-۱ ذکر شده است [۱].

موفقیت مواد مرکب لیفی با زمینه‌ی پلیمری گرماسخت[1] و یا گرمانرم[2] که در مقیاس زیادی به‌جای فلزات به‌کار می‌روند، نتیجه‌ی بهبود خواص مکانیکی مواد مرکب، در مقایسه با مواد غیرمرکب زمینه است. خواص مکانیکی خوب مواد مرکب نتیجه‌ی بهره‌برداری از خواص ویژه‌ی الیاف (شیشه‌ای، کربنی، آرامیدی و غیره) می‌باشد[۱]. در جدول ۱-۲ برخی از خواص مواد مرکب و در جدول ۱-۳ خواص مواد مرسوم نشان داده شده است.

جدول ۱-۱- برخی کاربردهای مواد مرکب زمینه ی پلیمری [۱]

زمینه‌ی صنعتی	مثال
هوافضا	بال‌ها، بدنه‌ی هواپیما، برج‌های رادار، دم هواپیما، تیغه‌های[3] بالگرد، صندلی‌ها، پانل‌های داخلی، مخازن سوخت، محفظه‌های موتور راکت، مخروط‌های نوک، لوله‌های سکوی پرتاب.
خودرو	پانل‌های بدنه، کابین، بادگیرها، کنسول‌ها، پانل‌های تجهیزات، محفظه‌ی لامپ‌ها، ضربه‌گیرها، فنرهای شمش، محورهای محرک، چرخ دنده‌ها، یاتاقان‌ها
کشتی	بدنه‌ها، عرشه‌ها، دکل‌ها، محفظه‌ی موتور، پانل‌های داخلی
شیمیایی	لوله‌ها، تانک‌ها، مخازن تحت فشار، حوضچه‌های لجن‌گیر، شیرها، پروانه ها
خانگی	پانل‌های داخلی و خارجی، صندلی‌ها، میزها، حمام‌ها، اجزای دوش‌ها، نردبان‌ها
الکتریکی	پانل‌ها، محفظه‌ها،توربین‌ها، کلیدآلات، عایق‌ها، اتصال‌دهنده‌ها
رفاهی	خانه‌های موتوری، کاروان‌ها، تریلرها، راکت‌های تنیس، کلاه‌های محافظ، اسکی‌ها، کمان تیرو-کمان‌ها، تخته‌های موج‌سواری، بیلیاردها، تخته‌های شیرجه، تجهیزات زمین‌های بازی.

[1] Thermoset
[2] Thermoplast
[3] Blade

جدول ۱-۲- خواص مواد مرکب با زمینه پلیمری[۱]

	وزن مخصوص grc/m^3	مدول یانگ Gpa	استحکام کششی Mpa	کشسانی %	استحکام خمشی Mpa	مدول ویژه $Gpa/(gr/cm^3)$	استحکام ویژه $Mpa/(gr/cm^3)$
نایلون ۶۶+۴۰٪ الیاف کربن	۱/۳۴	۲۲	۲۴۶	۱/۷	۴۱۳	۱۶	۱۴۸
اپوکسی+۶۰٪ الیاف شیشه تک جهته-طولی	۱/۹۰	۴۲	۷۵۰		۱۲۰۰	۲۲	۳۹۵
اپوکسی+۶۰٪ الیاف شیشه تک جهته-عرضی	۱/۹۰	۱۲	۵۰			۶	۲۶
اپوکسی+ ۶۰٪ آرامید	۱/۴۰	۷۷	۱۸۰۰			۵۵	۱۲۸۶
پلی استر ایمید+ ۵۲٪کولار		۵۴	۲۵۳				
پلی استر + شیشه CSM	۱/۵۰	۷/۷	۹۵		۱۷۰	۵	۶۳

جدول ۱-۳- خواص سرامیک ها، فلزات و پلیمرها در درجه حرارت اتاق [۱]

	وزن مخصوص gr/cm^3	مدول یانگ Gpa	استحکام Mpa	شکل پذیری %	چقرمگی k/c	مدول ویژه $Gpa/(gr/cm^3)$	استحکام ویژه $Mpa/(gr/cm^3)$
سرامیک‌ها							
آلومینا Al_2O_3	۳/۸۷	۳۸۲	۳۳۲	۰	۴/۹	۹۹	۸۶
زیرکنیم ZrO_2	۵/۹۲	۱۷۰	۹۰۰	۰	۸/۶	۲۹	۱۵۲
شیشه-سرامیک	۲/۹۰	۱۲۱	۱۷۴	۰	۲/۱	۴۲	۶۰
فلزات							
آلومینیوم	۲/۷۰	۶۹	۷۷	۴۷		۲۶	۲۹
برنج	۸/۵۰	۱۰۰	۵۵۰	۷۰		۱۲	۶۵
نیکل	۸/۱۸	۲۰۴	۱۲۰۰	۲۶		۲۵	۱۴۷
فولاد ساده	۷/۸۶	۲۱۰	۴۶۰	۳۵		۲۷	۵۹
تیتانیوم	۴/۵۶	۱۱۲	۷۹۲	۲۰		۲۴	۱۷۴
پلیمرها							
اپوکسی	۱/۱۲	۴	۵۰	۴	۱/۵	۴	۳۶
ملامین فرمالدئید	۱/۵۰	۹	۷۰			۶	۴۷
نایلون ۶/۶	۱/۱۴	۲	۷۰	۶۰		۱۸	۶۱
پلی‌اتراتر کتون	۱/۳۰	۴	۷۰			۳	۵۴
پلی‌متیل‌متاکریلات	۱/۱۹	۳	۵۰	۳	۱/۵	۳	۴۲

مقایسه داده‌های جدول ۱-۳ و جدول ۱-۲ بر اساس استحکام و مدول به تنهایی، نشان می‌دهد که مواد مرکب پلیمری تقویت‌شده لیفی، مزیت مشخصی نسبت به مواد متعارف مرسوم ندارند. مخصوصاً زمانی که مشخص می‌شود کشسانی در نقطه‌ی شکست آن‌ها خیلی کمتر از آلیاژهای فلزی با استحکام مشابه است. مزیتی که مواد مرکب زمینه‌ی پلیمری نسبت به فلزات دارند، وزن مخصوص کم آن‌ها می‌باشد. فواید وزن مخصوص کم زمانی مشخص و روشن می‌شود که ضریب کشسانی واحد جرم، مدول ویژه (E/ρ) و استحکام کششی بر واحد جرم $\hat{\sigma}_T / \rho$ (استحکام ویژه)، مورد ملاحظه قرار گیرند.

استحکام ویژه و مدول ویژه بالای این‌گونه مواد مرکب بدین مفهوم است که وزن قطعات و اجزای مشخص را می‌توان کاهش داد. این یک عامل بسیار با اهمیت برای اجزاء و قطعاتی است که به گونه‌ای با حرکت همراه می‌باشند، مخصوصاً در تمام موارد مربوط به حمل و نقل که کاهش وزن، راندمان بیشتری را به دنبال داشته و سبب صرفه‌جویی در مصرف انرژی و در نتیجه کاهش هزینه می‌گردد [۱] , [۳].

۱-۳ مزایای خاص کامپوزیت

معمولاً کامپوزیت‌ها برای کاربردهایی که کارآیی زیاد و وزن کم لازم است، طراحی و ساخته می‌شوند. این مواد دارای مزایای بسیار زیادی نسبت به مواد مهندسی سنتی هستند، که در زیر شرح داده می‌شود:

۱) مواد کامپوزیتی قابلیت یکپارچه کردن اجزا را دارند، چند جزء فلزی مختلف می‌تواند با یک کامپوزیت جایگزین شود.

۲) با قرار دادن حسگرهایی در ساختارهای کامپوزیتی می‌توان آن‌ها را به سرویس‌های ردیابی مجهز کرد. از این امکان برای آشکارسازی آسیب در ساختار هواپیما استفاده می‌شود و نیز می‌تواند برای ردیابی جریان رزین در فرآیند RTM[1] (قالب گیری انتقالی رزین) استفاده گردد. مواد دارای حسگر را مواد هوشمند[2] می‌نامند.

۳) کامپوزیت‌ها سفتی ویژه[3] (نسبت سفتی به دانسیته) بالایی دارند. کامپوزیت‌ها دارای سفتی فولاد، با یک پنجم وزن آن و دارای سفتی آلومینیوم، با یک دوم وزن آن هستند.

۴) استحکام ویژه (نسبت استحکام به چگالی) کامپوزیت‌ها بسیار بالا است. به همین دلیل هواپیماها و اتومبیل‌ها سریعتر حرکت کرده و سوخت کمتری مصرف می‌کنند. استحکام ویژه کامپوزیت‌ها ۳ تا ۵ برابر

[1] Resin Transfer Molding
[2] Smart Materials
[3] Specific Stiffness

آلیاژهای فولاد و آلومینیوم است. به دلیل سفتی ویژه و استحکام ویژه بالاتر، قطعات کامپوزیتی وزن کمتری نسبت به قطعات مشابه دارند.

۵) استحکام خستگی[۱] (حد دوام) کامپوزیت‌ها بسیار بالا است. آلیاژهای فولاد و آلومینیوم دارای حد خستگی خوبی در حدود ۵۰٪ استحکام استاتیکی خود هستند. کامپوزیت‌های کربن/ اپوکسی با الیاف هم‌جهت دارای استحکام خستگی بالایی نزدیک به ۹۰٪ استحکام استاتیکی خود می‌باشند.

۶) کامپوزیت‌ها مقاومت به خوردگی خوبی دارند. آهن و آلومینیوم در حضور آب و هوا خورده می‌شوند لذا احتیاج به پوشش و آلیاژ خاص دارند. اما لایه‌ی بیرونی کامپوزیت‌ها از پلیمر است، لذا مقاومت شیمیایی و مقاومت به خوردگی آن‌ها بسیار خوب است. این مزیت آن‌ها را برای کاربرد به عنوان لوله‌های انتقال بسیار مناسب ساخته است.

۷) زمینه‌ی کامپوزیت‌ها بسیار انعطاف‌پذیر است. برای مثال ضریب انبساط گرمایی (CTE[۲]) ساختار کامپوزیت را می‌توان با انتخاب یک ماده‌ی مناسب برای زمینه و روی هم قرار گرفتن پیوسته (متوالی) الیاف آن به صفر رساند. از طرفی چون CTE کامپوزیت‌ها از فلزات بسیار کمتر است، ساختار کامپوزیت‌ها پایداری ابعادی خوبی دارند.

۸) شکل نهایی قطعه را می‌توان با مواد کامپوزیتی ایجاد کرد. این مزیت کامپوزیت‌ها باعث کاهش عملیات ماشین‌کاری و یا حذف آن می‌شود و در نتیجه زمان انجام فرآیند و قیمت آن را کاهش می‌دهد.

۹) ساخت قطعات با شکل‌های پیچیده و طرح‌های خاص که بعضی مواقع توسط فلزات امکان‌پذیر نیست، با استفاده از کامپوزیت‌ها، بدون نیاز به پرچ‌کاری یا جوش‌کاری اجزای مختلف می‌تواند صورت گیرد. این موضوع ضریب اطمینان قطعه را افزایش داده و زمان تولید را کاهش می‌دهد. همچنین عملیات ساخت را عملی‌تر می‌کند.

۱۰) کامپوزیت‌ها استفاده از روشهای طراحی برای ساخت DFM[۳] و طراحی برای مونتاژ DFA[۴] را امکان-پذیر و عملی می‌کنند. این روش‌ها کمک می‌کنند که تعداد اجزاء محصول به حداقل برسد و در نتیجه باعث کاهش زمان اتصال و مونتاژ می‌شوند. با کاهش تعداد اتصالات، قطعه با اجزای با استحکام بالا و قیمت پایین ساخته می‌شود. با کاهش زمان و هزینه‌ی مونتاژ، سوددهی افزایش می‌یابد.

---

[4] Fatigue Strength
[2] Coefficient of Thermal Expansion
[3] Design for Manufacturing
[4] Design for Assembly

۱۱) ویژگی‌های صوتی، ارتعاشی و خشنی (زبری) کامپوزیت‌ها از فلزات بهتر است. کامپوزیت‌ها ارتعاشات را بهتر از فلزات از بین می‌برند. این ویژگی کاربردهای مختلفی همچون لبه انتهایی هواپیما تا چوب گلف دارد.

۱۲) با استفاده از روش‌های طراحی و ساخت مناسب، می‌توان قطعات کامپوزیتی کارآمد و موثرتری تولید کرد. کامپوزیت‌ها این اجازه را به ما می‌دهند که آزادی عمل زیادی در طراحی قطعات داشته باشیم به‌طوری‌که کارآیی محصولات حفظ شده و از طراحی اضافی خودداری شود. این عمل با تغییر جهت الیاف، نوع الیاف و یا سیستم‌های رزینی حاصل می‌گردد.

۱۳) کامپوزیت‌های فنولیک مسلح شده با شیشه و آرامید دارای خواص لازم برای کاهش دود و سموم هستند. از این مزیت در کانال‌های داخلی هواپیما، انبارها، دیوارهای آشپزخانه کشتی و غیره استفاده می‌شود.

۱۴) کامپوزیت‌ها در فشار و دمای کمتری نسبت به فلزات تولید می‌شوند، لذا قیمت ابزار و تجهیزاتی که برای مراحل ساخت کامپوزیت‌ها لازم است، از ابزار مورد نیاز برای ساخت فلزات ارزان‌تر است. با توجه به کاهش پیوسته‌ی عمر تولید محصولات، این موضوع امکان تغییر طرح را در بازار رقابتی امروز به وجود می‌آورد [۸]-[۱].

۱-۴ معایب کامپوزیت

اگرچه کامپوزیت‌ها مزایای بسیاری دارند، اما دارای معایب زیر هستند:

۱) قیمت مواد مصرفی در کامپوزیت‌ها در مقایسه با موادی که برای تولید آلومینیوم و فولاد به‌کار می‌روند، بسیار گران‌تر است. بر مبنای وزن قطعات، قیمت مواد مصرفی در کامپوزیت‌ها تقریباً ۵ تا ۲۰ برابر از آلومینیوم و فولاد گران‌تر است. برای مثال: قیمت الیاف شیشه‌ای ۱ تا ۸ دلار بر پوند، قیمت الیاف کربن ۴۰-۸۰ دلار بر پوند، قیمت اپوکسی ۱/۵ دلار بر پوند، قیمت شیشه/اپوکسی ۱۲ دلار بر پوند و قیمت کربن/اپوکسی ۱۲-۶۰ دلار بر پوند است. در حالی‌که قیمت فولاد ۰/۲ تا ۱ دلار بر پوند و قیمت آلومینیوم ۰/۶ تا ۱ دلار بر پوند می‌باشد. البته باید به این نکته نیز اشاره نمود که با توجه به چگالی بسیار کمتر کامپوزیت‌ها نسبت به مواد مرسوم، وزن قطعات کامپوزیتی بسیار کمتر است و قیمت بالای مواد مصرفی تا حدودی جبران می‌گردد.

۲) در گذشته از کامپوزیت‌ها برای ساختن ساختارهای بزرگ با تعداد کم (یک تا سه قطعه در هر روز) استفاده می‌شد. فقدان روش‌های تولید انبوه، استفاده‌ی گسترده و وسیع از کامپوزیت‌ها را محدود می‌کرد. اخیراً

روش‌های پولتروژن[1]، RTM[2]، SRIM[3]، SMC[4] و رشته پیچی برای افزایش سرعت تولید، به صورت خودکار مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۳) مقاومت گرمایی قطعات کامپوزیتی به مقاومت زمینه‌ی کامپوزیت در برابر حرارت بستگی دارد. چون در زمینه‌ی اکثر کامپوزیت‌ها از مواد پلیمری استفاده می‌شود، مقاومت در برابر حرارت کامپوزیت به خواص پلاستیکی آن محدود می‌شود.

۴) مقاومت در برابر حلال‌ها، مقاومت شیمیایی و ترک ناشی از تنش‌های محیطی کامپوزیت‌ها، به خواص پلیمرها بستگی دارد. بعضی از پلیمرها دارای مقاومت کم در محدوده دمایی ۴۰°C- تا ۱۰۰°C+ هستند. برخی پلیمرها در محدوده دمایی بالاتر، بین ۱۵۰°C+ و ۲۰۰°C+ نیز مقاوم می‌باشند.

۵) کامپوزیت‌ها رطوبت را جذب می‌کنند. این موضوع خواص و پایداری ابعادی کامپوزیت‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد[۱] , [۹].

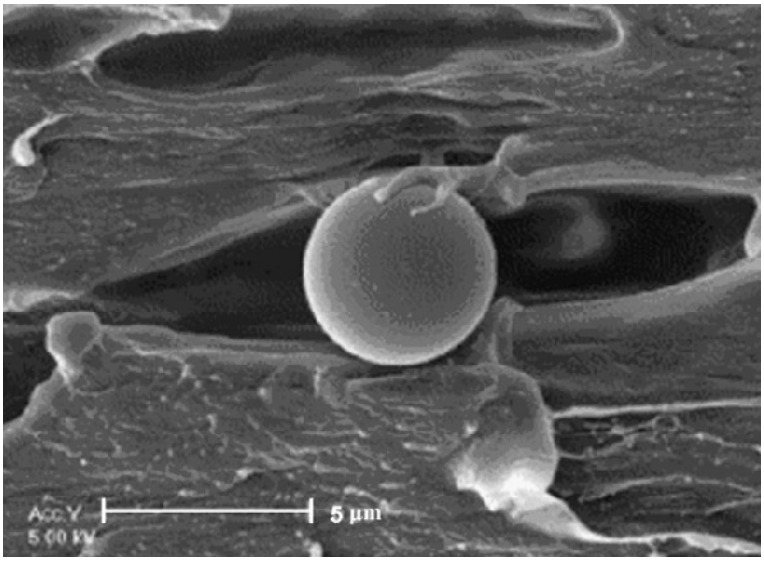
۱-۵ کامپوزیت های ذره ای

بعد از کامپوزیت‌های لیفی، کامپوزیت‌های ذره‌ای مهم‌ترین دسته کامپوزیت‌ها می‌باشند. همان‌طور که از نام آن‌ها نیز پیداست، این کامپوزیت‌ها از توزیع تقویت کننده‌های ذره‌ای در بستر ماتریس حاصل می‌شوند. ذرات بر خلاف الیاف دارای نسبت ابعادی کوچک و نزدیک به یک هستند. ذرات به منظور اهداف مختلفی به پلیمر افزوده می‌شوند، از جمله کاهش قیمت، کاهش جمع شدگی، افزایش مقاومت در برابر آتش، افزایش خواص مکانیکی، افزایش خواص الکتریکی و غیره.

تاثیر این افزودنی‌ها بستگی به ماهیت ذرات و خواص و رفتار آن در ماتریس دارد. تقویت کنندگی در کامپوزیت‌های ذره‌ای به فصل مشترک بین ذره و ماتریس و انتقال تنش از ماتریس به ذره وابسته است. به طوری که هرچه خواص ذرات بهتر از رزین بوده و نیز فصل مشترک و چسبندگی بین ذرات و ماتریس زیاد باشد انتقال تنش بیشتر و در نتیجه تقویت کنندگی بهتری خواهیم داشت [۲]. از مهم‌ترین ذرات مورد استفاده در کامپوزیت‌های ذره‌ای می‌توان به سیلیس، آلومینا، کربنات کلسیم، نانولوله‌های کربنی، نانو خاک رس، سیلیسیم کاربید و ذرات پودر تالک اشاره کرد. البته کامپوزیت‌های ذره‌ای برای مصارفی که هدف خاصی مورد نیاز است به‌کار می‌روند،

[1] Pultrusion
[2] Resin Transfer Molding
[3] Structure Reaction Injection Molding
[4] Compression Molding of Sheet Molding Compound

مانند قیمت کمتر، رسانایی یا مقاومت به سایش. این نوع کامپوزیت‌ها در صنعت هوایی که خواص دیگری چون مقاومت مکانیکی و غیره نیزمهم است کاربرد ندارند و از کامپوزیت‌های لیفی استفاده می‌شود. نمایی از یک ذره سیلیس داخل پلی‌پروپیلن در شکل ۱-۲ نشان داده شده است [۱۰].



شکل ۱-۲- ذره سیلیس در بستر پلی‌پروپیلن [۱۰]

۱-۶ مقدمه ای در مورد نانو

کلمه نانو اغلب به کلمات دیگری از قبیل نانوتکنولوژی، نانوذره یا نانومهندسی وصل می‌شود و همانند کلمه میکرو به‌اندازه اشاره دارد. یک نانومتر برابر با 10^{-9}m می‌باشد که اگر میانگین قطر موی انسان را ۷۰ میکرومتر (70×10^{-6} m) و پیوند کربن- کربن الماس را حدود ۱/۵۴ آنگستروم ($1/54\times10^{-10}$ m) در نظر بگیریم، معلوم می شود که یک نانومتر با ابعاد خیلی کوچک موجود در طبیعت، برابری می کند [۱۱].

عنوان نانوتکنولوژی اولین بار توسط تانگوچی[1] (دانشگاه توکیو) در سال ۱۹۷۴ به‌کار گرفته شد که به معنی طراحی، خصوصیات، تولید و کاربرد ساختارها، وسایل و سیستم‌ها از طریق کنترل کردن شکل و اندازه در مقیاس نانومتر می‌باشد. با گذشت سال‌ها توجهات و علاقه‌مندی‌ها به نانوتکنولوژی به‌طور قابل توجهی افزایش یافته است. کاهش اندازه تولیدات در بسیاری از رشته‌های مهندسی و خصوصیات خودآرایی سیستم‌های شیمیایی و زیست-

[1] Nori Tanguchi