به نام خدایی که در این نزدیکی است

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی نساجی

بررسی ظرفیت جذب انرژی در کامپوزیت های تقویت شده با پارچه های حلقوی پودی سه بعدی

پایان نامه کارشناسی ارشد تکنولوژی نساجی

رضا حسامی

اساتید راهنما :

دکتر حسین حسنی

دکترسعید آجلی

۱۳۸۹

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی نساجی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی نساجی- تکنولوژی نساجی آقای رضا حسامی تحت

عنوان

بررسی ظرفیت جذب انرژی در کامپوزیت های تقویت شده با پارچه های حلقوی پودی سه بعدی

در تاریخ ۱۳۸۹/۹/۳۰ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایانامه	دکتر حسین حسنی
۲- استاد راهنمای پایانامه	دکترسعید آجلی
۳- استاد مشاور پایان‌نامه	دکترعلی زادهوش
۴- استاد داور	دکترمحمد ذره بینی
۵- استاد داور	دکترمحمد قانع
سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکترسعید آجلی

تشکر وقدر دانی

سپاس فراوان از استاد عزیز و گرانمایه جناب دکتر حسین حسنی به خاطر تمام زحمات و دلسوزی‌های بی‌دریغشان، صبرهمیشگی و بی‌پایانشان، سپاس از جناب دکتر سعید آجلی برای راهنماییها و توجهات بسیارشان، سپاس از جناب دکتر علی زادهوش برای راهنماییها و دلگرمی‌های خالصانه شان، سپاس از خانم مهندس صدیقی پور سرپرست آزمایشگاه فیزیک الیاف برای کمک های فراوان و صبر و حوصله بسیارشان، سپاس از خانم مهندس فروتن سرپرست سایت دانشکده برای کمک هایشان و سپاس فراوان از دوست عزیز جناب مهندس رسول مهدی برای تمام کمک ها و همراهیهای خالصانه و صمیمانه‌شان‌که هیچ زمان فراموش نمی‌گردد.

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

تقدیم به

پدر و مادر فداکارم

تمام سرمایه زندگی ام

که محبتشان بی پایان و بی چشم داشت است

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فهرست مطالب	هشت
چکیده	۱
فصل اول، بررسی منابع	
۱-۱-کامپوزیت چیست؟	۳
۱-۲-کامپوزیت های تقویت شده با پارچه های تاری پودی سه بعدی	۶
۱-۳-کاربرد کامپوزیت های تقویت شده با برید های سه بعدی	۱۰
۱-۴-کامپوزیت های تقویت شده با پارچه های بخیه شده سه بعدی	۱۲
۱-۵-کامپوزیت های تقویت شده با پارچه های حلقوی سه بعدی	۱۴
۱-۵-۱-کامپوزیت های تقویت شده با پارچه های حلقوی سه بعدی ساندویچی	۱۴
۱-۵-۲-کامپوزیت های تقویت شده با پارچه های حلقوی تاری غیر مجعد سه بعدی	۱۵
۱-۵-۳-کامپوزیت های تقویت شده با پارچه های حلقوی تقریباً توری شکل سه بعدی	۱۶
۱-۶-سازه های سلولی	۱۷
۱-۷-کامپوزیت های منسوج سلولی	۱۸
۱-۸-کاربردهای کامپوزیت های منسوج سلولی	۲۴
۱-۹-پلی وینیل کلرید	۲۵
۱-۱۰-انواع افزودنیهای مختلف پلی وینیل کلرید	
۱-۱۰-۱-پایدارکننده های گرمایی	۲۶
۱-۱۰-۲-نرم کننده ها	۲۶
۱-۱۰-۳-عوامل پف زا	۲۷
۱-۱۱-طراحی آزمایشات به روش تاگوچی	۲۸
۱-۱۲-لزوم تحقیق و اهداف آن	۳۰
فصل دوم، مواد و روشها	
۲-۱-پارچه های حلقوی پودی بکار رفته	۳۲
۲-۲-عملیات گرما شکل دهی	۳۴
۲-۳-پوشش دهی نمونه ها با رزین اپکسی	۳۵
۲-۴-تهیه فوم پی وی سی	۳۷
۲-۵-ساخت قالب برای تهیه قطعه کامپوزیت	۳۸
۲-۶-نحوه تهیه قطعه کامپوزیت	۳۹
۲-۷-طراحی روش تهیه نمونه های کامپوزیت	۴۰

۲-۸-آزمایشات انجام شده روی نمونه ها	۴۱

۲-۸-۱-آزمون استحکام کششی ۴۱
۲-۸-۲-آزمون فشارجانبی شبه استاتیکی ۴۱
۲-۸-۳-آزمون ضربه وزنه ثقلی ۴۲
۲-۸-۴-آزمون ضربه پاندولی ۴۳
فصل سوم، بحث و بررسی نتایج
۳-۱-نتایج حاصل از آزمایشات ۴۴
۳-۱-۱-نتایج حاصل از آزمایشات استحکام کششی ۴۴
۳-۱-۲-تجزیه و تحلیل جدول تاگوچی برای آزمون استحکام کششی ۴۵
۳-۱-۳-جدول پاسخ برای آزمون استحکام کششی ۴۶
۳-۱-۴- تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از آزمون استحکام کششی ۴۸
۳-۱-۵-مقایسه آزمون استحکام کششی کامپوزیت تهیه شده و فوم پی وی سی ۵۰
۳-۱-۶-چغرمگی ۵۱
۳-۲-۱-نتایج حاصل از آزمایشات فشار جانبی ۵۲
۳-۲-۲-تجزیه و تحلیل جدول تاگوچی برای آزمایش فشار جانبی ۵۲
۳-۲-۳-جدول پاسخ برای آزمایش فشار جانبی ۵۳
۳-۲-۴-تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از آزمون فشار جانبی ۵۵
۳-۲-۵-مقایسه آزمون فشار جانبی کامپوزیت تهیه شده و فوم پی وی سی ۵۷
۳-۳-۱-نتایج حاصل از آزمایشات ضربه با وزنه ثقلی ۵۹
۳-۳-۲-تجزیه و تحلیل جدول تاگوچی برای آزمایش با وزنه ثقلی ۶۲
۳-۳-۳-جدول پاسخ برای آزمایش با وزنه ثقلی ۶۲
۳-۳-۴-تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از آزمایش ضربه با وزنه ثقلی ۶۴
۳-۳-۵-مقایسه آزمون ضربه برای کامپوزیت تهیه شده و فوم پی وی سی ۶۵
۳-۴-۱-نتایج حاصل از آزمایشات ضربه پاندولی ۶۷
۳-۴-۲-تجزیه و تحلیل جدول تاگوچی برای آزمایش ضربه پاندولی ۶۸
۳-۴-۳-جدول پاسخ برای آزمایش پاندولی ۶۹
۳-۴-۴-تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از آزمایش ضربه پاندولی ۷۱
۳-۴-۵-مقایسه آزمون ضربه برای کامپوزیت تهیه شده و فوم پی وی سی ۷۲
فصل چهارم، نتیجه گیری و پیشنهادات
۴-۱-نتایج حاصل از آزمون استحکام کششی ۷۳
۴-۲-نتایج حاصل از آزمون فشار جانبی ۷۴

۴-۳-نتایج حاصل از آزمون ضربه وزنه ثقلی ۷۴
۴-۴-نتایج حاصل از آزمون ضربه پاندولی ۷۴
پیشنهادات ۷۵
منابع و مراجع ۷۶
ضمائم ۷۸

چکیده:

ظرفیت جذب انرژی یکی از مهمترین گزینه ها در انتخاب مواد برای بسیاری از کاربردهای مهندسی مانند قطعات ضربه گیر در اتومبیل ها، کلاه های ایمنی مورد استفاده در دوچرخه و موتور سواری، محوطه‌های ساختمان‌سازی و نیز بسته بندی برای کالاهای شکننده، می باشد. مواد مورد استفاده در جاذب های انرژی باید تغییر شکل پلاستیک را به عنوان مکانیزم اصلی جذب انرژی بکار گیرند، ضمن اینکه سبکی وزن در این مواد بسیار مورد توجه می باشد. علیرغم استفاده از کامپوزیت های تقویت شده با منسوج های دوبعدی (چندلایی ها) در یک دوره طولانی، استفاده از آنها در بسیاری ازکاربردهای ساختمانی محدود شده است که این محدودیت ها ناشی از مشکلات تولیدی مانند زمان و هزینه بالای لایه چینی دستی و ویژگی های ضعیف مکانیکی از جمله آویزش ضعیف لایه های پیش آغشته و عدم رسیدن به شکل های پیچیده در قالب گیری است. از مشکلات مکانیکی مهم دیگر چند لایی‌ها، مقاوت پایین آنها به ورقه ورقه شدن می باشد. در تلاشی گسترده برای غلبه بر بسیاری از این مشکلات در طول چند دهه گذشته توجه زیادی به کامپوزیت های پلیمری تقویت شده با سازه های لیفی سه بعدی شده است چراکه هزینه تولید این کامپوزیت ها نسبت به چند لایی ها پایین تر و مقاومت درون ضخامت بهتری را ارایه می کنند. جذابیت ویژه پیش ساخته های منسوج سه بعدی بدلیل بهبود مقاومت در برابر آسیب ناشی از ضربه و حالت تقریباً توری شکل (سلولی) آنها می باشد که موجب افزایش ظرفیت جذب انرژی در آنها می گردد. بیشترین توجه به فرایندهای نساجی از قبیل بافندگی تاری پودی، بریدینگ، بخیه زنی و بافندگی حلقوی برای تولید این کامپوزیت ها شده است. در میان این فرایندها، بافندگی حلقوی به موجب قابلیت تولید سریع اجزا و همچنین قابلیت دستیابی به شکل های پیچیده در قالب گیری به دلیل مقاومت پایین آنها در برابر تغییر شکل و ساختار سلولی یکی از مناسب ترین فرآیندها می باشد. همچنین کامپوزیت های پارچه حلقوی مقاومت بهتری در برابر ورقه ورقه شدن و جذب انرژی بیشتری در مقایسه با کامپوزیت های پارچه تاری پودی از خود نشان می دهند. در این تحقیق قابلیت جذب انرژی کامپوزیت های ساخته شده از پارچه های حلقوی پودی سه بعدی شده مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرد.

برای نیل به این مقصود، دو ساختار حلقوی پودی یکروسیلندر ساده و دوروسیلندر ریب با تراکم های سطحی متفاوت از نخ نایلون مولتی فیلامنت تکسچره شده ۱۵۰ دنیری بر روی ماشین های گردباف بافته شد. سپس پارچه ها با استفاده از فرایند گرما شکل دهی در آون با دمای ۱۸۰ درجه سانتیگراد و مدت زمان ۵ دقیقه به کمک استفاده از قالبهای خاص سه بعدی شدند. برجستگی های سه بعدی روی پارچه ها به دو شکل هندسی مخروطی سرصاف و نیمکره ای با دو تراکم کم و زیاد ایجاد شدند. پارچه های سه بعدی شده به وسیله رزین اپکسی پوشش داده شده و برای رسیدن به یک جاذب انرژی ایده آل در یک بستر پلیمری از فوم پی وی سی قرار گرفتند. فوم مذکور برای رسیدن به یک جاذب انرژی ایده آل بایستی دارای حالت الاستیکی باشد بنابراین با افزودن عامل پف زا و تعیین میزان دقیق آن و تعیین دقیق عوامل فراورش مانند دما و زمان پخت این امر نیز محقق گشت. برای قرار گیری پارچه ها در بستر پلیمری، قالبی با ابعاداستاندارد تهیه گردید. پارچه سه بعدی در میان آن قرار گرفت و سپس فوم پی وی سی به اندازه یکسان در دو طرف پارچه درون قالب ریخته شد و در آون به مدت زمان و حرارت مناسب قرار داده شد. نمونه ها بر مبنای روش طراحی آزمایش تاگوچی L_8 آماده گردید و مورد آزمایشات شبه استاتیک کشش و فشار و آزمایش دینامیکی ضربه وزنه ثقلی و پاندولی قرار گرفتند. نتایج حاصل به کمک نرم افزار mini tab مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و نمونه بهینه مشخص گردید. نتایج حاصله نشان می دهد که نمونه تقویت شده

بوسیله پارچه دورو سیلندر ریب با تراکم سطحی بالا و ساختار اشکال هندسی مخروطی سر صاف با تراکم سطحی بالا در آزمون استحکام کششی و فشار بالاترین مقاومت را از خود نشان داد. همچنین در آزمون ضربه وزنه ثقلی و پاندولی نمونه با همان شرایط ذکر شده اما با برجستگی های نیمکره ای، نمونه بهینه شناخته شد. سپس به کمک نرم افزار spss نمونه بهینه با نمونه پی وی سی بدون پارچه مورد تحلیل آماری قرار گرفت که نتایج حاکی از معنی دار بودن تفاوت مابین ویژگی های بررسی شده دراستفاده از پارچه حلقوی برای تقویت فوم پی وی سی می باشد.

کلمات کلیدی: جذب انرژی، پارچه های حلقوی سه بعدی سلولی، فوم پی وی سی، کامپوزیت پلیمری

فصل اول:

بررسی منابع

۱-۱-کامپوزیت چیست؟

ترکیبی غیر متجانس از دو یا چند ماده به عنوان تقویت کننده و ماتریس هستند، که از لحاظ ساختاری و شکل ظاهری با هم متفاوتند. نتیجه استفاده همزمان از مواد متفاوت مزبور، بدست آوردن خواص عملکردی ممتاز و ویژه خواهد شد که در هر کدام از آنها نمی توان این خواص را به صورت مجزا بدست آورد. اجزای اصلی کامپوزیتها، به طور کامل در یکدیگر غیر قابل ادغام و انحلال هستند.کامپوزیتها معمولاً بر مبنای نوع ماتریس تقسیم بندی می شوند: کامپوزیت های پلیمری، فلزی و سرامیکی. در کامپوزیتهای پلیمری که بیش از ۶۰ درصد انواع کامپوزیتها را تشکیل می دهند، الیاف تقویت کننده نقش اصلی را در تحمل بار اعمال شده دارند. ماتریس همچنین به عنوان انتقال دهنده بار اعمال شده بین الیاف و محافظت آنها در برابر آسیبهای محیطی مانند دمای بالا، رطوبت و احتمالاً خوردگی عمل می کند. مواد کامپوزیتی معمولاً سبکتر از فلزات با شرح وظیفه یکسان هستند، برای مثال یک سازه کامپوزیتی ۳۰ تا ۴۰ درصد از سازه آلومینیومی سبکتر است. مقاومت بالا در برابر خوردگی، عدم شعله ور شدن در برابر آتش از ویژگی های دیگر سازه های کامپوزیتی است. با طراحی درست، خواص مکانیکی بالاتر از فلزات در کامپوزیتها قابل دستیابی است، برای مثال می توان استحکام کششی تا ۱/۶ برابر فلزات را بدست آورد. پایداری ابعادی

کامپوزیت ها در تغییرات دمایی بدلیل ضریب انبساط گرمایی پایین آنها به مراتب بیشتر از فلزات می باشد. همچنین کامپوزیت ها دارای استحکام ویژه (نسبت استحکام به وزن) بیشتر و دانسیته کمتری هستند.

در اینجا به توضیح روشهای تولیدکامپوزیت های پلیمری تقویت شده با پارچه های سه بعدی یا به عبارت دیگرسازه های لیفی سه بعدی و مزایا و معایب آنها نسبت به کامپوزیتهای پلیمری تقویت شده با پارچه های دو بعدی و یا به عبارتی سازه های لیفی دو بعدی پرداخته می‌شود.

کامپوزیت های پلیمری چندلایی[۱] تقویت شده با سازه های لیفی دو بعدی با موفقیت قابل توجهی بیش از ۵۰ سال در صنایع دریایی، در حدود ۳۰ سال در هواپیما سازی و نزدیک به ۲۰ سال درصنعت اتومبیل سازی و زیر ساخت های عمرانی مانند ساختمان ها و پل ها به کار رفته است[۱]. علی رغم استفاده از کامپوزیت های چند لایی در یک دوره طولانی در بسیاری از کاربردهای ساختمانی به علت مشکلات تولید و بعضی خصوصیات مکانیکی پایین، استفاده از آنها اکنون محدود شده است. تولید کامپوزیت های چند لایی به علت نیاز به کار زیاد برای لایه چینی دستی گران می باشد و نیاز در بعضی صنایع (به ویژه صنعت هواپیما سازی) به تولید کامپوزیت های چند لایی از نوارهای پیش آغشته[۲]، هزینه تولید را افزایش می دهد، چرا که امکانات خنک کنندگی برای افزایش زمان مجاز نگهداری قبل از پخت نیاز می باشد. علاوه بر این هزینه ها، خاصیت آویزش ضعیف بسیاری از پیش آغشته ها و لایه های پارچه باعث مشکل در قالب گیری به شکل های پیچیده می گردد. در نتیجه، بسیاری از کامپوزیت های چند لایی پیچیده نیاز به تعدادی اجزای کامپوزتی چند لایی جداگانه دارندکه در انتها باید به وسیله پخت کمکی، اتصال با چسب یا اتصال های مکانیکی به یکدیگر متصل گردند. این مشکل بزرگ در صنعت هواپیماسازی خود را نشان می دهد به گونه ای که سازه‌هایی مانند بالها نیاز به تولید از تعداد زیادی اجزای کامپوزیتی کوچکتر دارند تا اینکه از یک سازه یکپارچه تنها ساخته شوند. مشکلات تولید مانند این، مانع از استفاده وسیع از کامپوزیت های چند لایی در سازه های هواپیما می گردد چرا که گرانتر از بسیاری آلیاژهای مورد استفاده در صنعت هوافضا می باشند.

همچنین کاربرد کامپوزیت های چند لایی دو بعدی در بعضی سازه های بحرانی در هواپیماها و اتومبیل ها به علت مقاومت کم در برابرضربه و خصوصیات مکانیکی درون ضخامت[۳] کم در مقایسه با مواد سنتی مورد استفاده در صنایع هوافضا و اتومبیل مانند آلیاژهای آلومینیوم و فولاد محدود گردیده است. خصوصیات

---

[۱] laminate

[۲] Prepreg Tapes

[۳] Through Thickness

درون ضخامتی پایین، مانند سختی، مقاومت و مقاومت خستگی، استفاده از کامپوزیت های چند لایی دو بعدی را در سازه های ضخیم که تحت تنش های برشی درون ضخامت و بین لایه ای قرار می گیرند را محدود می کند. مشکل اضافه شده این است که بسیاری از چند لایی های دو بعدی مقاومت پایینی در برابر ورقه ورقه شدن تحت نیروهای ضربه ای به علت چغرمگی پارگی[1] کم، دارند. در نتیجه خصوصیات مکانیکی درون صفحه ای پس از ضربه به طور جدی تنزل می یابد به ویژه خصوصیات خستگی و مقاومت فشاری کاهش می یابد. البته این مشکلات با استفاده از رزین های سخت شونده یا اضافه کردن الیاف بهبود می یابد اما معمولا این راه حل ها بسیار گران می باشند و بر بسیاری مشکلات مربوط به تولید کامپوزیت های چند لایی فائق نمی آیند.

برای غلبه بر مشکلات مربوط به تولید کامپوزیت های چند لایی و بهبود خصوصیات مکانیکی آنها، توجه زیادی در طول ۳۰ سال گذشته به توسعه کامپوزیت های پلیمری پیشرفته تقویت شده با سازه های لیفی سه بعدی شده است. کامپوزیت های سه بعدی به روشهای متعددی نظیراستفاده از میله های مستقیم یا z مانند کامپوزیتی کوتاه که به درون چند لایهٔ دو بعدی معمولی وارد می گردند، تولید می شوند. اگرچه، بیشترین توجه به کامپوزیتهای سه بعدی شده است که به وسیله فناوری های تولید منسوج مانند بافندگی تاری و پودی، بریدینگ ، بخیه زنی و بافندگی حلقوی تولید می گردند.

سازه های کامپوزیتی ساخته شده با پارچه های منسوج سه بعدی، خصوصیات مکانیکی درون ضخامتِ بهتری نسبت به کامپوزیتهای ساخته شده با پارچه های دو بعدی متداول دارند و همچنین هزینهٔ تولیدآنها ارزانتر می باشد. با این حال، جایگزینی کامپوزیتهای سه بعدی با کامپوزیتهای چند لایی دو بعدی در بسیاری از کاربردهای ساختمانی به طور گسترده ای موفقیت آمیز نبوده است. به علت اینکه بعضی از این کاربردها محرمانه می باشند، تنها فرآیندهای نساجی به کار رفته در کامپوزیتهای سه بعدی،کاربردهای گزارش شده در مقالات و نیزموانع اصلی استفاده ازکامپوزیتهای سه بعدی، در اینجا مورد بررسی قرار می‌گیرند.

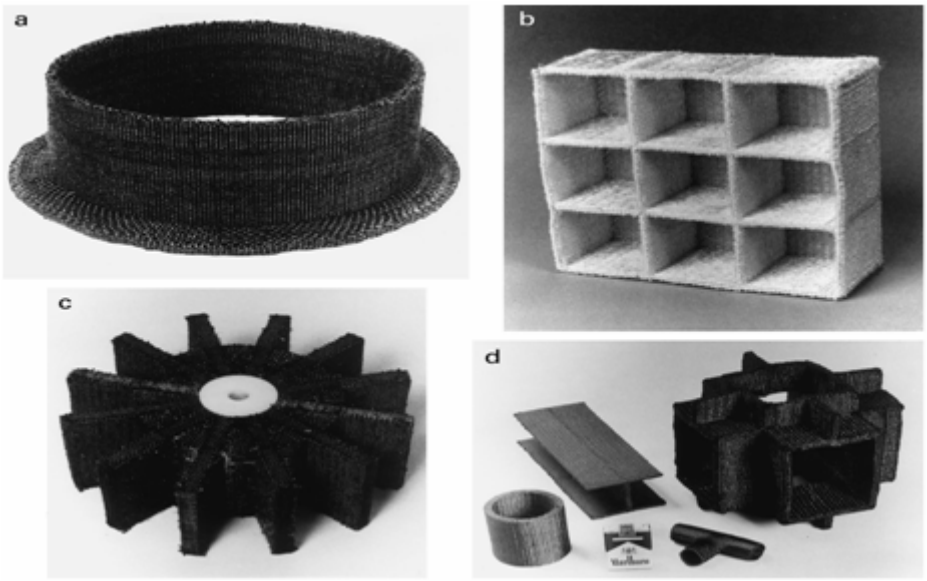
---

[1] Fracture Toughness

۱-۲- کامپوزیت های تقویت شده با پارچه های تاری و پودی سه بعدی:

ماشین آلات و فرآیندهای بافت پارچه های چند لایه مورد استفاده در این کامپوزیت ها در تحقیقات مختلفی[۲و۳] مورد بررسی قرار گرفته است. به طور پایه ای برای تولید پارچه دو بعدی، نخهای تار به ماشین بافندگی از یک منبع به نام چله تغذیه می گردند، سپس از میان ورد ها عبور می کنند. مکانیزم بالا برندهٔ ورد ها، نخهای تار را انتخاب کرده و بالا می برد و در نتیجه فضایی به نام دهنه تشکیل می گردد، بگونه ای که نخهای پود در زوایای برابر وارد آن می گردند. سیستم بالا برندهٔ ورد ها می تواند به صورت مکانیکی و یا در ماشین های بافندگی پیشرفته به صورت الکترونیکی کنترل گردد. یک وسیله شانه مانند (دفتین) برای فاصله دهی یکسان بین تارها در عرض پارچه به کار می رود و دفتین وظیفه متراکم کردن پارچه پس از تغذیهٔ نخ پود را نیزبه عهده دارد. نخ های اتصال دهنده لایه ها در پارچه های سه بعدی می توانند در راستای تار یا در جهت پود قرار بگیرند و مسیر درون ضخامت آنها در پیش ساخته به وسیله دستگاه بالا برنده (مکانیزم تشکیل دهنه) کنترل گردد. کامپوزیت های تقویت شده با پارچه های تاری پودی سه بعدی اولین بار نزدیک به ۴۰ سال قبل در تلاشی برای جایگزینی با آلیاژهای فلزی گران قیمت با دمای بالا در ترمزهای هواپیما، توسعه یافت. برای تولید چنین کامپوزیت هایی، از ماشین بافندگی مجهز به مکانیزم های ویژه که قادر به بافت پیش ساختهٔ سیلندری تو خالی با الیاف کربن بود، استفاده شد به گونه ای که الیاف کربن در جهت های شعاعی، محیطی و محوری قرار می گرفتند. سپس این پیش ساخته در ماتریسی از کربن برای تولید کامپوزیت کربن– کربن قرار داده شد . این کامپوزیت دارای خصوصیات قابل قبولی برای ترمزهای هواپیما می باشد. از جملهٔ این ویژگی ها می توان به سختی و مقاومت ویژه بالا نسبت به آسیب های حرارتی اشاره نمود. این پیشرفت ها به علت مشکلات رو در روی کامپوزیت های چند لایی دو بعدی نظیرگران بودن تولید اجزای پیچیده از آنها، همچنان ادامه یافته است. یکی از مزایای مهم بافندگی تاری پودی سه بعدی این است که پیش ساخته هایی برای اجزای کامپوزیتی با هندسه پیچیده با حالت توری شکل قابل تولید می باشند. این قابلیت، به طور گسترده ای می تواند هزینه کامپوزیت را با کاهش مواد ضایعاتی، عملیات ماشین کاری، اتصال و مقدار مواد جابجا شده کمتردر طول لایه چینی دستی،کاهش دهد.

مثال هایی از پیچیدگی و تنوع اجزا ساخته شده با استفاده ازکامپوزیت های تقویت شده با پارچه های تاری پودی سه بعدی درشکل(۱-۱)آورده شده است.



شکل(۱-۱)مثالهایی از پیش ساخته های تاری پودی سه بعدی

(a)سیلندر و فلنج(b)سازه های جعبه تخم مرغی(c)چرخانه های توربین(d)شکل های پیچیده[۱]

مزیت دیگر بافندگی تاری پودی سه بعدی این است که پیش ساخته ها می توانند بر روی ماشینهای بافندگی تاری پودی صنعتی استانداردِ مورد استفاده برای تولید پارچه های دو بعدی، با اعمال اصلاحاتی کوچک بر روی این ماشین ها، تولید گردندکه هزینه های اصلی را کاهش می دهد. اگرچه طیفی از ماشین های بافندگی خاصی در طول ۲۰ سال اخیر که سرعت های بافت بالاتر و توانایی بافت پیچیده تر نسبت به ماشینهای بافندگی سنتی که اصلاح شده اند را دارا می باشند، عرضه گردیده است. مزیت دیگر بافندگی تاری پودی سه بعدی این است که پارچه هایی با آرایش های متفاوتی از نخهای اتصال دهنده برای تقویت خصوصیات درون ضخامت، قابل تولید می باشند. دو مورد از معمول ترین این آرایش ها بافت های سه بعدی تاری پودی متعامد[۱]و بافت های سه بعدی تاری پودی با لایه های در هم قفل شده[۲]می باشند، که در شکل (۱-۲) نمایش داده شده است. تفاوت مهم بین این دو آرایش الگوی بافت نخ اتصال درون ضخامت، می باشد. این پیش ساخته ها می توانند تقریباً از هر نوع نخ مانند کربن ، شیشه، کولار و الیاف سرامیک [۳] ساخته شوند. به علاوه مقدار و نوع نخ های تار، پود و نخهای اتصال دهنده برای حصول خواص ویژه درکامپوزیت جهت کاربردهای ویژه، می تواند کنترل گردد. اگرچه سهم نخهای اتصال دهنده در اکثر پیش ساخته ها معمولا کمتر از ۵٪ می باشد. همچنین تولید پیش ساخته های هیبرید (ترکیبی) با استفاده از بیش از

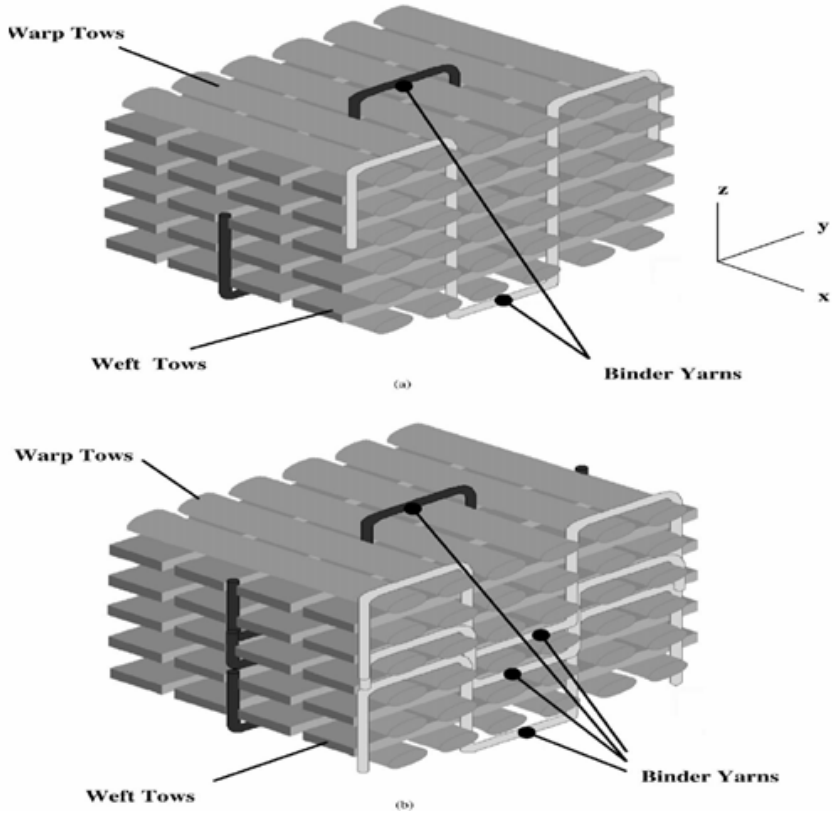
---

[۱] Orthogonal

[۲] Interlocked Layers

[۳] Sic, AL_2O_3

یک نوع نخ امکان پذیر می باشد. هرچند خصوصیات مکانیکی کامپوزیتهای هیبرید مانندکارکرد آنها در کاربردهای ساختمانی به صورت کامل مورد آزمایش قرار نگرفته است.



شکل(۱-۲) پیش ساختهٔ سه بعدی تاری پودی

(a)پیش ساخته سه بعدی تاری پودی متعامد(b)پیش ساخته سه بعدی تاری پودی با لایه های در هم قفل شده[۱]

مزیت مهم دیگر کامپوزیت های تقویت شده با پارچه های تاری پودی سه بعدی، مقاومت بالا در برابر آسیب ضربه پرتابی و تحمل آسیب ضربه با سرعت پایین می باشد، که مشکلی عمده در ارتباط با استفاده از کامپوزیتهای چند لایی تقویت شده با پارچه های دو بعدی در سازه های هواپیماهای نظامی می باشد.

در کامپوزیت های تقویت شده با پارچه تاری پودی سه بعدی، مقاومت در برابر آسیب ضربه بهبود یافته،که معمولاً به کاهش کمتر خصوصیات مکانیکی درون صفحه ای نسبت به همتای دو بعدی خود منجر می گردد. تحمل آسیب بیشتر کامپوزیت های سه بعدی به دلیل وجود نخهای اتصال دهنده درون ضخامت است که قادر به گرفتن یا کم کردن رشد ترک های شکل گرفته تحت بارگذاری ضربه ای می باشند. نخهای اتصال دهنده همچنین باعث افزایش مقادیر کشش-کرنش تا شکست می شوند و چغرمگی درون لایه ای حالت اول را ۲۰-۶ برابر بالاتر از کامپوزیت چند لایه ای اپکسی تقویت شده با الیاف کربن تک

جهته می نمایند. علی الرغم مزایا و فواید بالقوه کامپوزیت های تقویت شده با پارچه های تاری پودی سه بعدی، کاربرد این ساختار ها در ابعاد تجاری موفقیت آمیز نبوده است. این کامپوزیت ها تنها در تعداد معدودی از سازه های خاص مانند صنایع ساختمان سازی، هواپیمایی و دریایی آزمایش یا بکار گرفته شده اند. این در حالی است که قیمت و کارآیی کامپوزیت های چند لایی سنتی و فلزات، غیر قابل قبول می باشند. صنعت ساختمان سازی از کامپوزیت های پارچه تاری پودی سه بعدی شیشه در کاربردهایی درون دیوار، استفاده کرده است. تیرهای I شکل ساخته شده از این کامپوزیت ها در سقف ساختمان های اسکی در آلمان به کار رفته است. همچنین، تنها کاربرد زیر ساختی عمرانی این کامپوزیت ها پوشش دریچه ها در بعضی ایستگاههای نفت می باشد. مزایای استفاده از کامپوزیتهای تقویت شده با پارچه های تاری و پودی سه بعدی به صورت خلاصه عبارتند از:

۱- بافندگی تاری پودی سه بعدی قادر به تولید پیش ساخته های تقریباً توری شکل می باشد.
۲- این کامپوزیتها با شکلهای پیچیده تر می توانند ارزان تر و ساده تر تولید گردند.
۳- مقاومت در برابر ورقه ورقه شدن، مقاومت ضربه پرتابی و تحمل آسیب ضربه بالاتری دارند.
۴- مقادیرتنش-کرنش تا شکست بالاتری دارند.
۵- ویژگی های چغرمگی درون لایه ای بالاتری دارند.

علی رغم کاربردهای جاری و بسیاری از کاربردهای بالقوه این کامپوزیتها، در بسیاری از سازه ها برای جایگزینی با کامپوزیت های چند لایی دو بعدی، موفق نبوده اند، بعضی از دلایل آن در زیر آورده شده است :

۱- سختی تولید و هزینه بالای این کامپوزیت ها به صورت شبه همسانگرد و یا همسانگرد.
۲- این کامپوزیت ها به طور کلی خصوصیات کششی، فشاری، برشی و پیچشی کمتری دارند.
۳- خصوصیات مکانیکی درون صفحه ای و مکانیزم های شکست آنها به خوبی مشخص نشده است.
۴- روشهای معتبر برای پیش بینی خصوصیات و دوام طولانی مدت این کامپوزیت ها در دسترس نمی باشد.
۵- درک ضعیفی از تاثیر پارامترهای تولید روی معماری پیش ساخته و خصوصیات آنها وجود دارد.
۶- عدم توانایی ماشین های بافندگی معمول برای تولید پارچه هایی با نخهایی به غیر از زوایای ۰ و ۹۰ درجه موجود، که باعث می شود کامپوزیت ها خصوصیات ناهمسانگردی بالایی داشته باشند و خصوصیات پایین برشی و پیچشی که باعث نامناسب بودن آنها در بسیاری از سازه ها، جایی که مواد با خواص همسانگرد نیاز می باشد، می گردد.

۷-در حالی که مقادیر سختی کامپوزیت های پارچه سه بعدی مشابه کامپوزیت های چند لایی دو بعدی می باشد، اما مقاومت های فشاری و کششی آنها به طور کلی ٪ ۲۰-۱۵کمتر می باشد، این کاهش مقاومت به طور گسترده مربوط به تجعد و خرابی الیاف درون صفحه توسط نخهای اتصال دهنده می باشد.

یک زیر گروه خاص از پارچه های تاری پودی سه بعدی که امروزه به صورت تجاری درکامپوزیت ها استفاده می گردد، پارچه های فاصله دار[1] می‌باشند این مواد شامل دو پوسته موازی از پارچه دو بعدی با الیاف شیشه می باشندکه به صورت یکپارچه توسط نخهای شیشه با تراکم پایین به یکدیگر متصل شده‌اند. کامپوزیت های پارچه‌های فاصله دار یک جایگزین برای مواد لانه زنبوری یا اسفنجی برای ساخت سازه های ساندویچی می باشند، چراکه خصوصیات مکانیکی بهتری را ارائه می کنند. این کامپوزیت ها به صورت اولیه برای ساخت مخزن های دو جداره یا آستر دیواره مخزن های نگهداری مواد شیمیایی، ماشین و کامیون ، دیوارهای سبک وزن، سازه های گنبدی و تجهیز کامپوزیت ها به کار می‌رفتند.

۱-۳- کامپوزیت های تقویت شده با بریدهای سه بعدی:

بریدینگ اولین فرآیند نساجی می باشدکه برای تولید پیش ساخته های لیفی سه بعدی برای تقویت کامپوزیت به کار گرفته شد. این فرآیند در اواخر دهه ۱۹۶۰ برای تولید کامپوزیت کربن – کربن سه بعدی استفاده گردید. جایگزینی این کامپوزیت ها با آلیاژهای فلزی در اجزای موتور موشک برای کاهش وزن بین٪۴۰-۳۰ بود. اگر چه تعداد کمی از این نوع موتور موشک ساخته شد، اما همین، توانایی بریدینگ را برای تولید اجزای کامپوزیتی سبک وزن با شکل پیچیده نشان می دهد. مزایای کامپوزیت های تقویت شده با بریدهای سه بعدی نسبت به کامپوزیت های چند لایی تقویت شده با پارچه های دو بعدی عبارتند از:

۱-فناوری بریدینگ سه بعدی توانایی تولید پیش ساخته های توری شکل پیچیده را دارد.
۲-فناوری بریدینگ سه بعدی می تواند به صورت اتوماتیک کنترل گرددکه موجب افزایش کیفیت پیش ساخته و سرعت تولید می گردد.
۳-کامپوزیت های برید سه بعدی با شکلهای پیچیده، به صورت ارزان و ساده تولید می گردند.
۴-کامپوزیت های برید سه بعدی مقاومت در برابر ورقه ورقه شدن و تحمل آسیب ضربه بیشتری دارند.
۵- خصوصیات ضد ضربه بسیار برتری را دارا می باشند.
۶- حساسیت کمتری به شکاف خوردگی دارند.

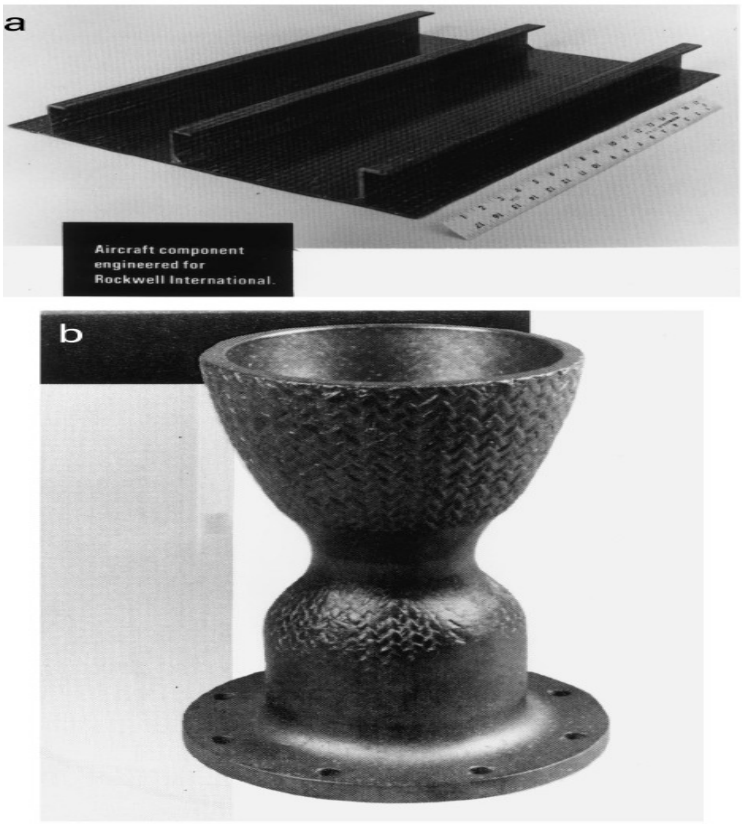
---

[1] Distance Fabric

با این حال تقریباً تمام ماشین های بریدینگ سه بعدی هنوز تحت توسعه می باشند و تنها قادر به تولید پیش ساخته های باریک هستند. ضمن اینکه ماشینهای بریدینگ سه بعدی زمان نصب طولانی و سرعت پایینی دارند وگران می باشند. در کنار معایب فوق، موارد زیر مانع از استفاده گسترده از این فناوری می گردد:

۱-سختی و مقاومت کامپوزیت های مذکور کمتر از کامپوزیت های چند لایی دو بعدی می باشند.
۲-تعمیم نتایج آزمایشهای مکانیکی اجرا شده روی نمونه های کامپوزیت برید سه بعدی کوچک به سازه های بزرگ برید مشکل می باشد.
۳-کارآیی مکانیکی سازه های کامپوزیتی برید سه بعدی به صورت گسترده مورد مطالعه قرار نگرفته است.
۴-پراکندگی زیادی در خصوصیات مکانیکی سازه های کامپوزیتی برید وجود دارد.
۵-مدل های پیش بینی برای مشخص سازی مقاومت و خستگی تا به حال توسعه پیدا نکرده است.
۶-آزمایشهای زمان دهی طولانی مدت در محیط و دوام این کامپوزیت هاتا به حال اجرا نشده است.

شکل (۱-۳) دو مثال از درجه پیچیدگی سازه هایی که در بریدینگ سه بعدی قابل حصول است را نشان می دهد.



شکل (۱-۳) (a)پانل های سخت شده شیار دار(b)نازل راکت با استفاده از بریدینگ سه بعدی[۱]