بسم الله الرحمن الرحيم

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک-طراحی کاربردی

بررسی تحلیلی و عددی پدیده‌ی ضربه پرتابه در پوسته‌های کامپوزیتی مشبک استوانه‌ای

نگارنده:

مهدی خوش سرور

استاد راهنما:

دکتر غلامحسین رحیمی شعرباف

استاد مشاور:

دکتر غلامحسین لیاقت

زمستان۹۲

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه

آقای مهدی خوش سرور پایان نامه ٦ واحدی خود را با عنوان بررسی تحلیلی و عددی پدیده‌ی ضربه پرتابه درپوسته‌های کامپوزیتی مشبك استوانه‌ای در تاریخ ۱۳۹۲/۱۲/۱۹ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک - طراحی کاربردی پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر غلامحسین رحیمی شعرباف مقدس	استاد	
استاد مشاور	دکتر غلامحسین لیاقت	استاد	
استاد ناظر	دکتر اکبر علی بیگلو	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر عباس راستگو	دانشیار	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر اکبر علی بیگلو	دانشیار	

این نسخه به عنوان نسخه نهایی پایان نامه/رساله مورد تایید است.

امضای استاد راهنما

دستورالعمل حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیات علمی، دانشجویان، دانش آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی که با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد ذیل را رعایت نمایند:

ماده ۱- حق نشر و تکثیر پایان نامه و درآمد های حاصل از آنها متعلق به دانشگاه می‌باشد ولی حقوق معنوی پدیدآورندگان محفوظ خواهد بود

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و وبا تایید استاد راهنمای اصلی،یکی از اساتید راهنما،مشاور و یا دانشجوی مسئول مکاتبات مقاله باشد.ولی مسئولیت علمی مقاله مستخرج از پایان نامه و رساله به عهده اساتید راهنما و دانشجو می باشد

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب ،نرم افزار و یا آثار ویژه(اثری هنری مانند فیلم،عکس،نقاشی و نمایشنامه)حاصل از نتایج پایان نامه و تمامی طرح های تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه اعم از دانشکده‌ها،مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده‌ها،پارک ع لم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آئین نامه های مصوب انجام شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این دستورالعمل در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ۸۷/۴/۱ در شورای پژوهشی ودر تاریخ ۸۷/۴/۲۳ در هیات رئیسه دانشگاه به تایید رسیده و در جلسه مورخ ۸۷/۷/۱۵ شورای دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب در شورای دانشگاه لازم الاجرا است .

اینجانب مهدی خوش سرور دانشجوی رشته مهندسی مکانیک ورودی سال تحصیلی ۱۳۹۰ مقطع کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی مکانیک متعهد می‌شوم کلیه نکات مندرج در آئین نامه حق مالکیت مادی و معنوی درمورد نتایج پژوهش های علمی دانشگاه تربیت مدرس رادر انتشار یافته های علمی مستخرج از پایان نامه تحصیلی خود رعایت نمایم.درصورت تخلف از مفاد آئین نامه فوق الاشعار به دانشگاه وکالت و نمایندگی می‌دهم که از طرف اینجانب نسبت به لغو امتیاز اختراع بنام بنده و یا هرگونه امتیاز دیگر وتغییر آن به نام دانشگاه اقدام نماید.ضمنا نسبت به جبران فوری ضرر و زیان حاصله براساس برآورد دانشگاه اقدام خواهم نمود و بدینوسیله حق هرگونه اعتراض را از خود سلب نمودم.

امضا

تاریخ ۹۲/۳/۲۴

ج

آیین نامه چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه،دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد/ رساله دکتری نگارنده در رشته است که در سال در دانشکده دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار خانم/جناب آقای دکتر ، مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر و مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت‌چاپ) را به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر درمعرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده رابه عنوان خسارت به دانشگاه تربیت‌مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواندخسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده‌نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب مهدی خوش سرور دانشجوی رشته مهندسی مکانیک مقطع کارشناسی ارشد

تعهد فوق وضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی:مهدی خوش سرور

تاریخ و امضا: ۹۵/۱۲/۲۴

با نهایت ادب و احترام، پایان نامه ی ناقابلم را تقدیم می کنم به

پدر و مادری که ذره ذره ی وجودشان را صرف بالیده شدنم کردند

و

همسرم که مهربانی و صبوری او توان زندگی و تلاش بر من بخشید

و

خواهران و برادر عزیزم

خداوند مهربان را شاکرم که توان به اتمام رساندن این پایان نامه را به من عطا نمود.

بر خود لازم می دانم که از استاد گرانقدرم جناب آقای دکتر غلامحسین رحیمی شعرباف، که در تمامی مراحل تکمیل پایان نامه این شاگرد خود را از دریای علم خود بهره مند ساخت کمال قدردانی را داشته و از خداوند متعال برای ایشان سلامتی و توفیق روزافزون هدایت فرزندان ایران را خواهانم. همچنین از استاد گرانقدرم جناب آقای دکتر غلامحسین لیاقت که بدون راهنمایی ها و مشاوره ی بی دریغ ایشان اتمام کار این پایان نامه ممکن نبود، کمال تشکر را دارم و خالصانه برای ایشان طلب سلامتی و شادکامی دارم.

از خانواده ی عزیز و مهربانم به خصوص پدر و مادر فداکار و فرشته صفتم، که حضور و همیاریشان نیروی تلاش و انگیزه ی این بنده ی حقیر را صد چندان کرده است سپاسگزارم و سر تعظیم در برابر این عزیزانم فرو می آورم.

و در پایان صمیمانه ترین تشکراتم نثار زنیست که اسوه ی مهر و پاکی و آرامش در زندگی من بوده است، فاطمه محمدزاده همسر عزیز و بردبارم.

چکیده:

در طول عمر یک سـازه ودر زمان تولید ، اسـتفاده و تعمیر و نگهداری آن ممکن است توسط اجسام خارجی ضرباتی بر آن وارد شود.سازه های کامپوزیت چند لایه در مقایسه با سازه های فلزی مشابه ،در برابر ضربه دارای عدم اطمینان بیشتری هسـتند. در سـازه های کامپوزیتی، ضـربات آسـیب های داخلی ایجاد می کنند که غالبا با بازدید بصری و سطحی قابل رویت نیستند. این آسیب های داخلی میتواند منجر به کاهش شدید مقاومت سازه شده و تحت بار نیز گسترش یابند. بنابراین ، اثرات ناشـی از ضـربه روی سـازه های کامپوزیتی باید به درستی و با دقت فراوانی تحلیل و درک شود و در مراحل طراحی سازه های مذکور محاسـبات دقیقی با در نظر گرفتن اثر این پدیده انجام گیرد.نگرانی در مورد اثر پدیده ی ضـربه روی کارایی سـازه های کامپوزیتی ، عاملی اسـاسی در محدود کردن استفاده از مواد کامپوزیتی می باشد. به این دلایل، مسئله ی ضربه در نوشته ها و مقالات به نحو شایانی مورد توجه واقع شده است.

درپژوهش حاضـر پاسـخ ضـربه‌ی سرعت پایین روی پوسته‌ی کامپوزیتی استوانه‌ای مشبک با استفاده از اختلاط یک روش تحلیلی و روش معادل‌سـازی، مورد مطالعه واقع شـده اسـت.در این فرآیند، سـفتی ریب‌ها توسـط روش معادل‌سـازی به پوسـته اضافه شده و پوسته‌ای با سفتی معادل وارد پروسه‌ی تحلیل می‌شود.این روش تحلیلی برپایه‌ی بسط تابع بار ، جابجایی و دوران به صـورت سری دوبل فوریه که شرایط مرزی دو انتها را ارضا کند، می‌باشد.فرض شده است که هرکدام از این بسط‌ها را بتوان به‌صـورت توابع مجزایی از زمان و مکان نوشـت.بعلاوه با صـرفنظر از اینرسـی دورانی و درون سطحی، مسئله تبدیل به یک معادله‌ی دیفرانسیل معمولی درجه‌ی دو از زمان برای ضرایب فوریه‌ی تغییرشکل شعاعی می‌شود.در سمت راست معادله‌ی دیفرانسـیل ضـرایب فوریه‌ی تابع بار قرار دارد.برای یک بارگذاری در زمان کم حل را می‌تئان با اسـتفاده از انتگرال کانولوشـن بدسـت آورد.در مورد ضـربه ، نیروی ضـربه از کاهش سـرعت جرم ضـربه‌زننده محاسـبه می‌شـود. این روش به‌صـورت بنیادی معادله‌ی تعادلی را بین ضربه‌زننده و پوسته در زمان ضربه ایجاد می‌کند.باصرفنظر از تغییرشکل محلی در مکان ضربه، معادله‌ی انتگرالی نتیجه شده را می‌توان به صورت جبری برای نیروی ضربه با استفاده از تبدیل لاپلاس حل نمود.

برای بررسـی صحت نتایج نیز پوسته‌ی مورد نظر در نرم‌افزار المان محدود ABAQUS مدل شده است و پاسخ پوسته به ضـربه‌ی سـرعت پایین در این نرم‌افزار به صورت عددی نیز بدست آمده است. مقایسه‌ی نتایج نشان می‌دهد تطابق مناسبی بین دوروش وجود دارد و برای این محدوده از سرعت برای پرتابه روش تحلیلی اتخاذ شده مناسب می‌باشد.

در این پژوهش فاکتورهایی مانند تاثیر حضـور ریب، اثر جرم،سـرعت و چگالی پرتابه،ترتیب لایه‌چینی و هندسـه‌ی پوسـته و... در پاسـخ ضربه روی پوسته‌ی مذکور مورد مطالعه قرار گرفته است.درنهایت حضور ریب به کاهش جابجایی شعاعی حاصـل از ضـربه کمک می‌کند.جرم و سـرعت پرتابه به صـورت خطی روی جابجایی شـعاعی و نتیجتا نیروی تماسـی موثر اسـت.ترتیب لایه چینی تاثیر مشـهودی روی مقدار جابجایی شـعاعی ندارد.اثر هندسـه‌ی پوسـته به صورت تغییر ارتفاع آن در تحلیل وارد شده است و در اثر افزایش ارتفاع پوسته با وجود کاهش در نیروی تماسی مقدار جابجایی شعاعی افزایش می‌یابد.

کلمات کلیدی:

روش تحلیلی، ضربه‌ی سرعت پایین، پوسته‌ی کامپوزیتی مشبک استوانه‌ای،ریب، روش معادل سازی

فهرست مطالب

۱-مقدمه ۱
۱-۱- مقدمه ۲
۱-۱-۱-کامپوزیت‌ها ۲
۱-۱-۲-پوسته‌های مشبک کامپوزیتی ۳
۱-۱-۳-ضربه در سازه‌های کامپوزیتی ۹
۲-پیشینه‌ی تحقیق ۱۳
۲-۱- پیشینه تحقیق ۱٤
۲-۲- جمع بندی ۲۰
۳-پاسخ پوسته به ضربه‌ی سرعت پایین ۲۱
۳-۱- حل تحلیلی ۲۲
۳-۱-۱- مقدمه ۲۲
۳-۱-۲-پاسخ پوسته ی ساده استوانه ای کامپوزیتی ۲۳
۳-۱-۳-روش معادل سازی ٤٦
۳-۱-۴-جمع بندی ٥٤
۳-۲- حل عددی ٥٥
۳-۲-۱- مقدمه ٥٥
۳-۲-۲-مدلسازي عددي ٥٧
۳-۲-۳-خواص مکانیکي پوسته و ریب ٥٨
۳-۲-٤-مدل سازی پرتابه ٦٥
۳-۲-٥-شرایط مرزي و بارگذاري ٦٦
۳-۲-٦- تحلیل ٦٧
۳-۲-۷-جمع‌بندی ٦٧
۴- نتایج و بحث ٦٨
۴-۱- مقدمه: ٦٩
۴-۲- مقایسه‌ی نتایج حل تحلیلی و عددی ٦٩
۴-۲-۱- جابجایی شعاعی ۷۱
۴-۲-۲- نیروی تماسی ۷٤
۴-۲-۳- کرنش محوری ۷۷
۴-۳- تاثیر وجود ریب در پوسته ۸۰
۴-۳-۱-جابجایی شعاعی ۸۰
۴-۳-۲-نیروی تماسی ۸٥
۴-۳-۳-تاثیر تغییر سرعت پرتابه ۸۹
۴-۳-۴-تاثیر هندسه‌ی پوسته در روش تحلیلی ۹۰
۴-۳-٥-اثر تغییر ترتیب لایه‌چینی ۹۲
۴-۴-اثر تغییر چگالی پرتابه ۹٤
۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادها ۹۸

۵-۱- جمع بندی نتایج ۹۹
۵-۲- پیشنهاد پژوهشی..... ۱۰۲
٦- مراجع..... ۱۰۳

فصل اول

۱- مقدمه

۱-۱-مقدمه

۱-۱-۱- کامپوزیت‌ها

استفاده از مواد مرکب یا همان کامپوزیت‌ها قدمتی طولانی دارد . از اولین کامپوزیت‌های ساخت بشر می‌توان به کاه گل اشاره کرد . اما سابقه استفاده از کامپوزیت‌های پیشرفته به دهه ۱۹۴۰ باز می‌گردد . در آن زمان ارتش آمریکا و شوروی سابق در رقابتی تنگاتنگ با یکدیگر موفق به ساخت کامپوزیت‌های پلیمری اپوکسی – بور برای استفاده در صنعت هوافضا شدند . ۲۰ تا ۳۰ سال پس از آن ، کامپوزیت‌ها به طور گسترده ای در صنایع دیگر از جمله صنعت ساختمان ، حمل و نقل ، الکترونیک ، نفت و گاز و غیره مورد استفاده قرار گرفتند . همچنین کامپوزیت‌ها کاربردهای وسیعی در صنایع دریایی پیدا کرده اند که از آن جمله می‌توان به ساخت بدنه قایق‌ها و کشتی‌ها و تأسیسات فراساحلی اشاره داشت .

استفاده از کامپوزیت‌ها در این صنعت صرفه جویی اقتصادی زیادی به همراه داشته که علت اصلی آن پایداری بسیار زیاد کامپوزیت‌های پایه پلیمری و مقاومت بسیار خوب آنها در محیط‌های خورنده است . امروزه خودروهایی ساخته می‌شوند که تماماً کامپوزیتی هستند .

بسیاری از نیازهای صنایع مانند صنایع فضایی ، الکترونیکی و غیره با استفاده از مواد معمولی شناخته شده برآورد نمی‌شوند و می بایست از مواد مرکب یا کامپوزیت‌ها استفاده گردد ، لذا آزمایش‌ها و تحقیقات برای دست یافتن به کامپوزیت‌های جدید با خواص مطلوب توسعه یافته و هنوز هم با پیشرفت صنایع دنبال می‌گردد . علت اصلی این توسعه خواص بهینه کامپوزیت‌ها از قبیل وزن کم ، استحکام کششی بالا ، مقاومت خستگی عالی ، پایداری شیمیایی ، مقاومت در برابر خوردگی و زنگ‌زدگی ، ساخت و شکل‌دهی آسان ، قیمت مناسب و بسیاری خواص مطلوب دیگر بوده است . این توسعه عمدتاً با جایگزینی کامپوزیت‌ها به جای مواد معمول و بخصوص فلزات صورت می‌گیرد .

مواد کامپوزیتی ، موادی هستند که از دو یا چند جزء تشکیل شده‌اند . دو جزء اصلی مواد کامپوزیت را ماتریس و تقویت‌کننده تشکیل می‌دهد . بسته به اینکه ماتریس کامپوزیت‌ها از چه ماده‌ای تشکیل شده باشد ، آنها را به سه دسته پلیمری ، فلزی و سرامیکی تقسیم می‌کنند . رایج ترین دسته کامپوزیت‌ها ، کامپوزیت‌های پلیمری تقویت شده با الیاف هستند که بیشترین مصرف جهانی کامپوزیت‌ها را به خود اختصاص داده اند و به دلیل خواص مطلوبشان کاربردهای صنعتی زیادی پیدا کرده اند .

هنگامی که الیاف تقویت‌کننده درون یک ماده پلیمری توزیع شوند ، نیروهای اعمال شده به کامپوزیت به طور یکنواختی به الیاف منتقل می‌شود و همین امر باعث می‌شود که الیاف ظرفیت باربری ماده زمینه را افزایش دهد ، از رشد

ترک‌ها در آن جلوگیری کرده و اســتحکام آن را بیافزاید . از طرف دیگر زمینه پلیمری با احاطه کردن الیاف تقویت‌کننده ، آنها را در محل خود نگه می دارد و علاوه بر توزیع بکنواخت نیروهای اعمالی بین آنها، ســطح الیاف را نیز از آســیب‌های محیطی حفظ می‌کنـد . در کـامپوزیت‌ها نه فقط خواص هریک از اجزاء بر جای باقی می‌ماند ، بلکه در نتیجه پیوســتن آنها با یکدیگر خواص جدیدتر و بهتری نیز به دست می‌آید .

علیرغم تـأثیرات مطلوبی کـه وجود الیـاف در بهبود خواص کـامپوزیـت‌های پلیمری دارند ، نواقص و کمبودهایی در سـاختار این کامپوزیت‌ها احساس می‌شود که می بایست راه حل‌هایی برای آنها پیدا کرد . به عنوان مثال حضور الیاف مقاومت کامپوزیت را در برابر بارهای اعمالی افزایش می‌دهد اما نمی‌تواند از رشد ترک‌های ریز درون زمینه پلیمری تخریب موضعی آن جلوگیری کند ، دیگر اینکه خواص مکانیکی کامپوزیت‌ها تنها در راســتای الیاف بهبود می‌یابد و در راســتاهای عمود بر الیاف ، خواص ضعیف باقی خواهند ماند ، همچنین مقاومت سایشی و خستگی آنها پایین است .

برای رفع این کمبودها مواد مرکب جدیدی با عنوان کامپوزیت‌های چند فازی توســعه یافته اند که در ســاختار آنها علاوه بر الیاف ، از ذرات تقویت‌کننده نیز اسـتفاده شـده است . بکارگیری ذرات تقویت‌کننده در ترکیب مواد کامپوزیت مزایای بسـیاری به همراه دارد . این ذرات با اسـتفاده از مقاومت مکانیکی بالای خود ، از رشـد ترک‌های ریز که باعث تخریب موضعی ماده زمینه و تمرکز تنش در سـطح لیف می‌شـوند ، جلوگیری می‌کنند . علاوه بر آن خواص مکانیکی کامپوزیت را در راسـتای عمود بر الیاف تقویت می‌کنند ، مقاومت سـایشـی کامپوزیت را بالا می‌برند ، اسـتحکام فشـاری کامپوزیت را افزایش می‌دهند ، می‌تواننـد بـاعـث بهبود خواص حرارتی و الکتریکی کـامپوزیـت‌هـا شـــوند ، می‌توانند باعث افزایش انعطاف پذیری و چقرمگی کامپوزیت‌ها شوند و بسیاری تأثیرات مطلوب دیگر به همراه داشته باشند .

۱-۱-۲- پوسته‌های مشبک کامپوزیتی

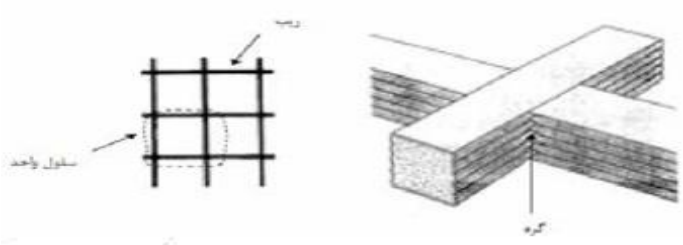
پوسته‌های استوانه‌ای مشبک کامپوزیتی بخاطر دارا بودن فوایدی همچون استحکام ویژه بالا، سبکی وخواص مقاومت به خوردگی، امروزه بطور وسیعی در صنایع هواپیماسازی، صنایع موشکی و دریایی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در بعضی موارد مانند سازه موشک، این پوسته‌ها تحت بار محوری فشاری قرارمی‌گیرند. بدین ترتیب، پایداری سازه‌های مخروطی و استوانه‌ای تحت نیروهای خارجی یک مسئله سازه‌ای بحرانی برای طراحی راکت، مخازن تحت فشار، پوسته‌های موتور راکت و تانکرهای گاز می‌باشد.

کامپوزیت‌های کربن-اپوکسی در صنعت هوافضا به دلیل دو پارامتر مهم طراحی، پایین بودن وزن و بالا بودن استحکام از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشند. لازم به ذکر است که استحکام و مدول ویژه بالای کامپوزیت‌های کربن-اپوکسی

تنها در جهت الیاف و بنابراین بیشترین میزان تحمل بار در این جهت می‌باشد.

یک سازه کامپوزیتی مشبک را می‌توان قرارگیری ریب‌های کامپوزیتی متصل به یکدیگر که تشکیل یک مجموعه پیوسته را به صورت ۲ بعدی (صفحه‌ای) یا ۳ بعدی (فضایی) می‌دهند، در نظر گرفت. این مجموعه از ریب‌ها (نوارها) که شکل شبکه‌ای به سازه می‌دهند از الیاف پیوسته، چقرمه، سفت و مستحکم تشکیل شده‌اند. بدین ترتیب سازه‌های کامپوزیتی مشبک به دلیل داشتن استحکام بالا، نسبت وزنی کم، انعطاف پذیری در طراحی دارای قابلیت‌های کاربردی بیشتری نسبت به سازه‌های فلزی می‌باشند.

اجزای اصلی این سازه مشبک شامل گره‌ها، ریب‌ها و سلول واحد می‌باشد (شکل ۱-۱). معمولاً هر سازه از تکرار چند سلول واحد تشکیل شده و استحکام سازه‌های مشبک کامپوزیتی رابطه مستقیم با این واحدها دارد، ضمناً محل برخورد ریب-ها، گره نامیده می‌شود. یکی از ویژگی‌های اصلی سازه‌های مشبک کامپوزیتی رخداد حالتهای مختلف شکست در آنها می‌باشد. شکست سازه مشبک کامپوزیتی می‌تواند ناشی از شکست ریب‌ها (ریب‌های مایل)، کمانش موضعی ریب‌ها و یاکمانش کلی پوسته و در نهایت شکست پوسته یا شبکه باشد.



شکل ۱-۱:اجزاء اصلی یک سازه‌ی مشبک [۱]

پوسته‌های مشبک کامپوزیتی غالباً از ریب‌های مایل (هلیکال) تشکیل می‌شوند که ابعاد (عرض، ضخامت و تعداد آنها)، فاصله آنها نسبت به یکدیگر و زاویه قرارگیری‌شان نسبت به محور طولی پوسته، از خروجی‌های طراحی می‌باشند،(*شکل ۱-۲*).

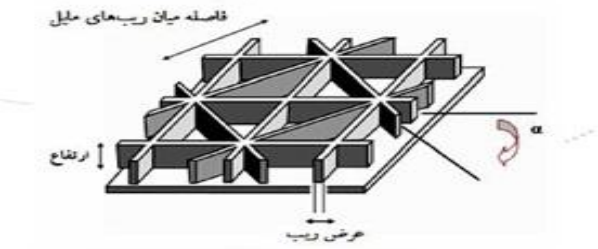
سازه‌های مشبک کامپوزیتی را می‌توان براساس جهات قرارگیری ریب‌ها به صورت زیر تقسیم‌بندی نمود:

۱- سازه‌های مشبک کامپوزیتی شامل ریب‌های محیطی، طولی و مایل(۴ جهته)

۲- سازه‌های مشبک کامپوزیتی شامل ریب‌های محیطی و مایل (۳ جهته)

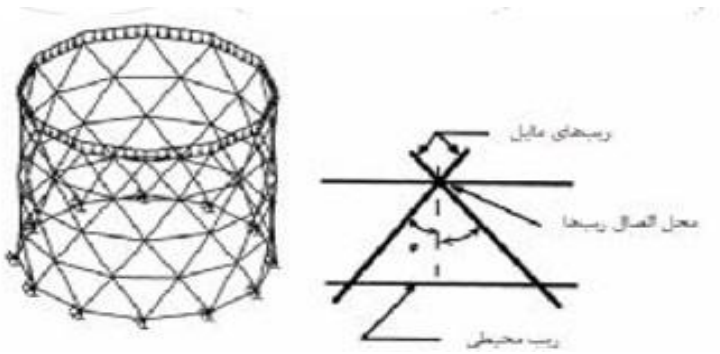
۳- سازه‌های مشبک کامپوزیتی شامل ریب‌های مایل

۴- سازه‌های مشبک کامپوزیتی شامل ریب‌های محیطی و طولی[2]

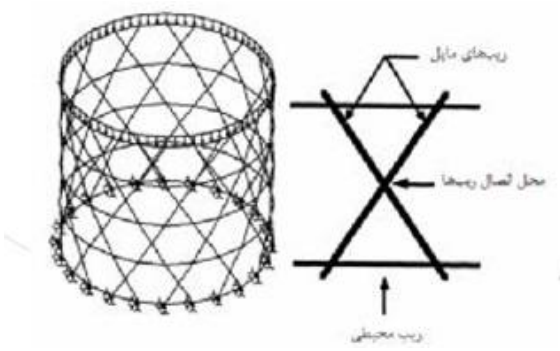


***شکل ۱-۲*:پارامترهای مؤثر در طراحی یک سازه‌ی مشبک کامپوزیتی**

همچنین سازه‌های مشبک کامپوزیتی شامل ریب‌های محیطی و ریب‌های مایل به دو دسته مثلثی (Triangular) و شش‌ضلعی (Hexagon) تقسیم می‌گردند. در سازه مشبک نوع مثلثی در هر محل اتصال، سه ریب رویهم قرار گرفته (شکل ۱-۳) و این در حالی است که در سازه‌های مشبـک نوع شـش‌ضلعی (شکل ۱-۴) در هر محل اتصال تنها دو ریب روی یکدیگر قرار گرفته‌اند[۳]. لازم به ذکر است که سازه‌های مشبک کامپوزیتی بسته به نوع کاربرد می‌توانند شامل پوسته داخلی، خارجی و یا هر دو باشند.



شکل ۱-۳:سازه‌های مشبک نوع مثلثی [3]



شکل ۱-۴:سازه مشبک نوع شش ضلعی [۳]

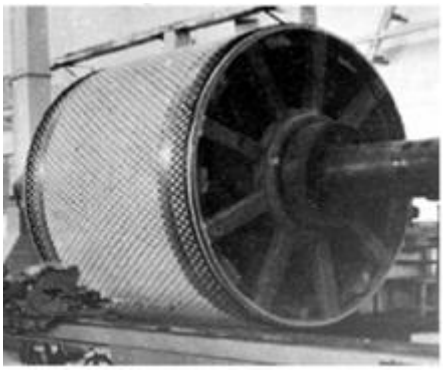
ابتدا ساختـارهای مشبک فلزی در چهارچوب هـواپیمای بمب‌افکـن انگلیسیWWII Wellington [۲] مورد استفاده قرار گرفت. طراحی سـازه‌های مشـبک در روسـیه، با سـاخت برج رادیویی مسـکو با ارتفاع ۱۴۸/۳ متر (*شـکل ۱-۵*) توسـط شوخوف(Shukhov) در سال ۱۹۲۱ [۴] ، آغاز گردید.

شکل ۱-۵:برج رادیویی مسکو

اولین کامپوزیت مشـبک آزمایشـی در CRISMB در سـال ۱۹۸۱ [۴و۵] و با قطر ۱/۳ متر و طول ۱/۴ متر ساخته و

تحت بار محوری فشاری مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج حاصله مبنی برآن بود که سازه بالاتر از مقادیر پیش‌بینی شده براساس معیارهای واماندگـــی پوســـته، دچـــار وامانـدگی می‌گردد. تحلیل بیشـتر نشان داد که سازه‌های مشبـک دارای ویژگـی خود-پایدارسازی می‌باشند. در شرایطی که سازه مشبک تحت بارگـذاری فشـاری قرار گیرد، ریب‌های مارپیـچی فشار را در ریب‌های محیطی یا پوســته تبدیل به کشـش کرده و بدین ترتیب بار فشـاری مشابه با یک نیروی فشاری درونی عمل می‌کند. این فشار شکل دایره‌ای را تثبیت کرده و حساسیت پوسته را به عیوب شکلی کاهش و مقدار بار بحرانی را افزایش می‌دهد.

در ســـال ۱۹۸۱ یـک برنامه پژوهشـــی خاص در CRISMB به منظور بهبود مفاهیم پایه طراحی، روش‌های تحلیل، سـاخت، بازرسـی و نحوه انجام تسـت‌ها برای سـازه‌های مشبک با هسته میانی آغاز شد. اتمام این برنامه در سال ۱۹۸۵ [۴و۵] منجر به ساخت آزمایشـی دو سازه با هســته میانی (*شکل ۱-۶* وشکل ۱-۷) گردید.



***شکل ۱-۶*:رشته‌پیچی سازه‌ی کامپوزیت مشبک روی قالب با پوشش فومی**

شکل ۱-۷:سازه‌ی مشبک با هسته‌ی فومی و پوسته در دوطرف

هر دو سازه کامپوزیتی متشکل از لایه‌های مخـــتلفی از جنـــس آرامید- اپوکسی که از طریق پیچش نوارهای کربنی

روی شیارهای ایجاد شده توسط ماشینکاری برروی لایه فومی ساخته شدند.

در گذشته [۳]، ریب‌های محیطی و مارپیچی در سیلندرهای مشبک با استفاده از روش‌های مختلفی ساخته می شدند. ریب‌های مارپیچی با روش لایه‌گذاری دستی و ریب‌های محیطی با استفاده از روش رشته‌پیچی ساخته و در اتوکلاو پخته شده تا سازه، شکل بگیرد. این فرآیند قابلیت اتوماتیک شدن را نداشته و بنابراین هزینه تولید بالا می‌باشد.

مخازن تحت فشار کامپوزیتی بعلت وزن پایین، استحکام بالا و هزینه‌های کم تولید، به طور گسترده‌ای در صنعت موشکی به منظور ساخت موتورهای موشک بکار می‌روند [۳]. مزیت اولیه روش رشته‌پیچی اینست که الیاف به طور پیوسته و در جهت بار وارده پیچیده و نیاز به اتوکلاو به حداقل رسیده و در محصول نهایی می توان به درصد حفره پایین همراه با درصد حجمی الیاف بالا رسید [۶]، علاوه براین بعلت استفاده از رزین و الیاف با قیمت پایین‌تر نسبت به الیاف از پیش آغشته، هزینه‌ها کاهش می‌یابد.

[۶] رفتار کمانشی پوسته‌های کامپوزیتی که به عنوان سازه‌های دریایی کاربرد دارند، را مورد مطالعه قرار داد. نمونه های تست با استفاده ازروش رشته‌پیچی از طریق پیچش نوارهای باریک از پیش آغشته شده روی مندرل گرم با دمای مناسب (دمایی که چسبناکی و جریان‌یابی مناسب رزین را فراهم سازد) حاصل شد. در حین فرآیند پیچش، از ابزاری به منظور اطمینان از مستقیم بودن الیاف و خارج شده هوای محبوس شده، استفاده می‌گردد. عیوب ناشی از فرآیند ساخت از قبیل چین خوردگی، موج دار شدن الیاف و حفرات، به محصول نهایی آسیب می‌رساند. جهت گیری‌های مختلف الیاف در پوسته به منظور ایجاد بهینه‌ترین میزان نیروی کمانش، مورد مطالعه قرار گرفت.

نویسنده در مرجع [۷] به بررسی واماندگی سیلندر مشبک نوع مثلثی پرداخت. او دریافت که اگرچه CFRP از نظر استحکام و مدول ویژه نسبت به فلزات و یا دیگر مواد ایزوتروپ بالاتر است، اما این مزیت تنها در جهت الیاف می‌باشد، همچنین متوجه شد که CFRP در اتصالات پیچی ضعیف عمل می‌کند. سازه‌های CFRP طوری طراحی می‌شوند که نیروها همواره درجهت الیاف بوده و همچنین الیاف در حین فرآیند ساخت بریده نشده و فرآیند رشته‌پیچی به طور پیوسته صورت بگیرد.

۱-۱-۳- ضربه در سازه‌های کامپوزیتی

مقاومت در برابر ضـربه برای مواد سـازه ای با کارآیی بالا ، یک ضـرورت اسـت . از آنجایی که پلیمرهای کامپوزیتی دارای سـفتی بالا و چگالی پایین هسـتند در زره‌های ضـد گلوله کاربرد زیادی دارند . برای اینکه بتوانیم از این مواد به صـورت مؤثر در سازه‌های تحت ضربه استفاده کنیم ، باید رفتار و عکس‌العمل این مواد تحت ضربه را به خوبی بشناسیم .

در طول عمر یک سـازه ودر زمان تولید ، اسـتفاده و تعمیر و نگهداری آن ممکن است توسط اجسام خارجی ضرباتی بر آن وارد شود.به عنوان مثالی از وقوع ضربه در طول استفاده از سازه می توان به هنگام نشستن و برخواستن هواپیما ها اشاره کرد، در هنگامی که سـنگ ها یا قطعات کوچک دیگر از سـطح مسـیر حرکت آن ها با سـرعت زیادی از زیر تایر های هواپیما پرتـاب شـــده و بـه بدنه ی آن برخورد می کند.در هنگام تولید یا تعمیر ســـازه ها ، تجهیزات و لوازم میتوانند بر روی ســـازه بیافتند.در این مورد سـرعت ضربه پایین است ولی جرم پرتابه ها بزرگتر است.سازه های کامپوزیت چند لایه در مقایسه با سازه های فلزی مشـابه ،در برابر ضـربه دارای عدم اطمینان بیشـتری هسـتند. در سازه های کامپوزیتی، ضربات آسیب های داخلی ایجاد می کنند که غالبا با بازدید بصـری و سـطحی قابل رویت نیسـتند. این آسیب های داخلی میتواند منجر به کاهش شدید مقاومت سـازه شـده و تحت بار نیز گسترش یابند. بنابراین ، اثرات ناشی از ضربه روی سازه های کامپوزیتی باید به درستی و با دقت فراوانی تحلیل و درک شـود و در مراحل طراحی سازه های مذکور محاسبات دقیقی با در نظر گرفتن اثر این پدیده انجام گیرد.نگرانی در مورد اثر پدیده ی ضـربه روی کارایی سـازه های کامپوزیتی ، عاملی اسـاسـی در محدود کردن استفاده از مواد کامپوزیتی می باشد. به این دلایل، مسئله ی ضربه در نوشته ها و مقالات به نحو شایانی مورد توجه واقع شده است.

مرحله ی اول در حصول درکی درست از این مسئله، توسعه ی یک مدل ریاضی برای پیش بینی نیروی وارده توسط پرتابه روی سازه در طول ضربه می باشد.به منظور پیش بینی این نیروی تماسی ، در مدل مورد نظر باید حرکت سازه، حرکت پرتابه و تغییر شکل های محلی در منطقه ی ایجاد تماس مدنظر قرار بگیرد.دست یابی به توصیفی دقیق و همراه با جزئیات در مورد تماس بین ضربه زننده و سازه در طول زمان ضربه بسیار دشوار می باشد و البته همانند بخشی از آنالیز دینامیکی ضربه ، مورد نیاز نمی باشـد. به جای آن، آنچه مورد نیاز اسـت، قانون تماس بین نیروی تماسـی و فرورفتگی حاصـله می باشـد که به کمک حرکت پرتابه نسبت به هدف عنوان می شود.

با اسـتفاده از سـیسـتم مجموعه ی مواد، تاثیرات نرخ کرنش قابل صـرفنظر کردن بوده و بدین ترتیب قوانین تماس دینامیکی و اسـتاتیکی مشـابه خواهد بود و بنابراین قوانین تماس استاتیکی را می توان در تحلیل دینامیکی مورد استفاده قرار داد. محققان بسـیاری مرحله ی بارگذاری را در پروسه ی ایجاد فرورفتگی مورد تحلیل قرار داده و قوانین تماس را برای تیر ها و ورق هایی با شـرایط مرزی متفاوت و چندین شـکل نوک برای ضربه زننده، پیش بینی نموده اند.پروسه ی فرورفتگی، آسیب