

استحکام فشاری کامپوزیت‌های لوله‌ای قیطانی و رشته‌پیچی شده

Compression Strength of Braided and Filament-wound Tubular Composites

زهرا طادی بنی^۱، مجید صفر جوهری^۲، محمد صالح احمدی^{۳*}

۱- اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده مهندسی نساجی، صندوق پستی ۸۲۱۱۱-۸۴۱۵۶

۲- تهران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی نساجی، صندوق پستی ۴۴۱۳-۱۵۸۷۵

۳- یزد، دانشگاه یزد، مجتمع فنی و مهندسی، دانشکده مهندسی نساجی، صندوق پستی ۷۴۱-۸۹۱۹۵

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۲/۰۷ تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۱/۲۳

چکیده

در این پژوهش، به وسیله ماشین قیطان‌بافی، ساختارهای قیطانی و رشته‌پیچی شده با الیاف شیشه روی قالب استوانه‌ای تولید شد. سپس، با استفاده از روش نفوذ در خلأ، نمونه‌های بافته شده به رزین پلی‌استر غیراشباع آغشته شد تا کامپوزیت‌های لوله‌ای قیطانی و رشته‌پیچی شده حاصل شود. پس از انجام آزمون فشاری روی لوله‌ها و محاسبه نیروی شکست و انرژی شکست، مشاهده شد، خواص فشاری در نمونه‌های رشته‌پیچی شده در مقایسه با نمونه‌های قیطانی تولید شده با درصد حجمی یکسان بیشتر است که این مسئله به دلیل وجود تعداد لایه‌های بیشتر در ساختار رشته‌پیچی شده برای جبران ساختار موج نخ‌ها در نمونه‌های قیطانی است. نتایج نشان داد، لوله‌های قیطانی که با تعداد لایه یکسان و درصد حجمی متفاوت نسبت به نمونه‌های رشته‌پیچی شده تولید شده‌اند، بیشترین نیروی شکست و انرژی شکست فشاری را دارند. علت این مسئله ضخامت بیشتر جداره لوله در نمونه قیطانی و در نتیجه رفتار با ثبات هنگام اعمال نیروی فشاری است.

مقدمه

تولید پیش‌ساخته‌ها (preforms) یا قطعات کامپوزیتی لوله‌ای با هر دو روش قیطان‌بافی و رشته‌پیچی امکان‌پذیر است. دو روش مزبور کاربردهای صنعتی فراوانی در تولید این نوع قطعات دارند. کامپوزیت‌های لوله‌ای در برخی از موارد جایگزین لوله‌های فلزی شده و به عنوان لوله‌های عبور سیالات یا اجزای تشکیل‌دهنده سازه‌های مواد مرکب به کار برده می‌شوند.

در روش قیطان‌بافی، سه یا تعداد بیشتری نخ به‌طور مورب و با ترتیب خاصی به هم بافته می‌شوند. در ماشین قیطان‌بافی تعدادی قرقره روی حامل‌های خود حول مسیری مدور، در جهات مخالف هم به حرکت در می‌آیند، به‌طوری که نیمی از قرقره‌ها ساعتگرد و نیمی

کامپوزیت‌های قیطانی و رشته‌پیچی شده، به علت داشتن خواص منحصر به فرد، توجه بسیاری از پژوهشگران را در دهه‌های اخیر به خود جلب کرده‌اند. انعطاف‌پذیری در تولید، کم‌بودن قیمت تمام شده کامپوزیت، زیادبودن قابلیت جذب انرژی و بهره بردن از خواص کششی، پیچشی و فشاری مطلوب، از مزایای این کامپوزیت‌ها در کاربردهای مختلف، از جمله صنایع هوافضا و خودروسازی به‌شمار می‌رود. همچنین، سبکی و مقاومت زیاد در برابر خوردگی در این نوع قطعات، افزون بر سایر مزایای گفته شده، سبب شده در بسیاری از کاربردها بتوانند به عنوان جایگزین خوبی برای قطعات فلزی به کار روند [۱، ۲].

کلمات کلیدی

کامپوزیت،
لوله،
قیطان‌بافی،
رشته‌پیچی،
استحکام فشاری

* مسئول مکاتبات، پیام‌نگار: ms.ahmadi@yazd.ac.ir

تجربی

تولید پیش ساخته

برای بافت نمونه‌های قیطانی و رشته‌پیچی شده از دستگاه قیطان‌بافی پروانه‌ای با ۱۶ حامل (carrier)، ساخت شرکت J.B. HYDE کشور انگلستان استفاده شد که در کار گذشته توسط مؤلفان [۱۴] برای تولید پیش‌ساخته‌های کامپوزیتی بهینه‌سازی شد. شکل ۱ تصویر دستگاه قیطان‌بافی استفاده شده در پژوهش حاضر را نشان می‌دهد. در این دستگاه، بخش برداشت به‌طور مجزا طراحی شد. همچنین، روی دستگاه یک راهنما برای عبور ساختار قیطانی با قابلیت تنظیم طول دلخواه نصب شد (شکل ۲). از این راهنما برای تعیین زاویه قیطان که یکی از پارامترهای مهم و اثرگذار بر خواص ساختاری قیطانی است، استفاده می‌شود. همان‌طور که در شکل ۳ دیده می‌شود، در نقطه تشکیل قیطان، زاویه بین نخ‌های همگرا شده با محور افقی برابر با زاویه قیطان در ساختار تشکیل شده است. بنابراین، می‌توان با تنظیم راهنما در نقطه تشکیل قیطان و با داشتن فاصله آن تا راهنمای قرقره (x) و نیز فاصله متوسط قرقره تا مرکز دستگاه (y) زاویه قیطان را با دقتی مناسب معین کرد. حین کار دستگاه می‌توان برای رسیدن به زاویه دلخواه، راهنما را در نقطه متناسب با آن زاویه تنظیم و با تغییر سرعت موتور محرک قرقره‌ها به وسیله برگرداننده (inverter) و سرعت بخش برداشت، نقطه تشکیل قیطان را به محل راهنما هدایت کرد. در پژوهش حاضر سرعت دوران قرقره‌ها ثابت و در حدود ۱۲ rpm تنظیم شد (سرعت دوان قرقره به دور محور دستگاه). محدوده تغییرات سرعت برداشت برای دستیابی به زاویه پیچش مدنظر در حدود ۱/۵-۱/۱ m/min بود.

برای بافت نمونه‌های قیطانی، از ۱۶ قرقره روی ۱۶ حامل ماشینی قیطان‌بافی استفاده شد که ۸ حامل در جهت عقربه‌های ساعت و ۸ حامل دیگر در خلاف جهت عقربه‌های ساعت حرکت می‌کنند. همچنین در این پژوهش، از دستگاه قیطان‌بافی برای تولید نمونه‌های رشته‌پیچی شده نیز استفاده شد. بدین ترتیب که با کاهش تعداد قرقره‌های دستگاه از ۱۶ به ۸ عدد، که تمام آنها در یک جهت

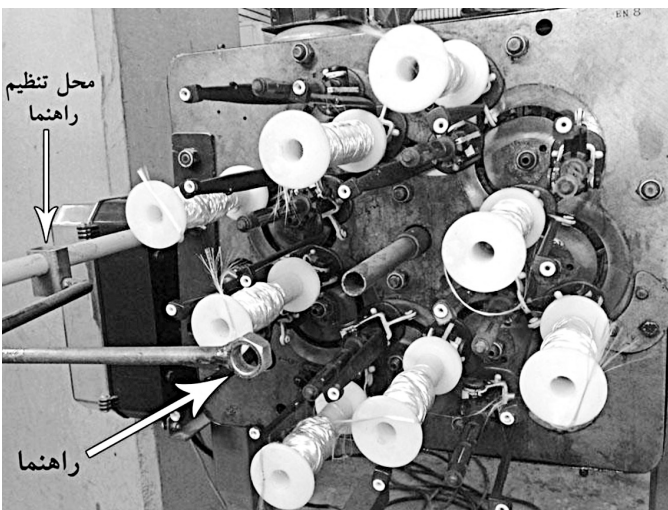
دیگر پادساعتگرد دوران می‌کنند. انتهای تمام نخ‌ها در یک سمت از ماشینی قیطان‌بافی همگرا می‌شوند که در واقع محل تشکیل قیطان است.

قیطان تشکیل شده با سرعتی معین از روی دستگاه برداشت می‌شود. در واقع هر زمان که قرقره‌ها از کنار یکدیگر عبور می‌کنند، نخ‌ها با یکدیگر درگیر شده و عمل بافت انجام می‌شود. هر یک از نخ‌ها در ساختار قیطانی مسیر مارپیچی را طی می‌کند. با تغذیه یک قالب گرد به مرکز دستگاه، امکان بافت روکش قیطانی روی آن و در نتیجه تولید پیش‌ساخته لوله‌ای امکان‌پذیر می‌شود [۳].

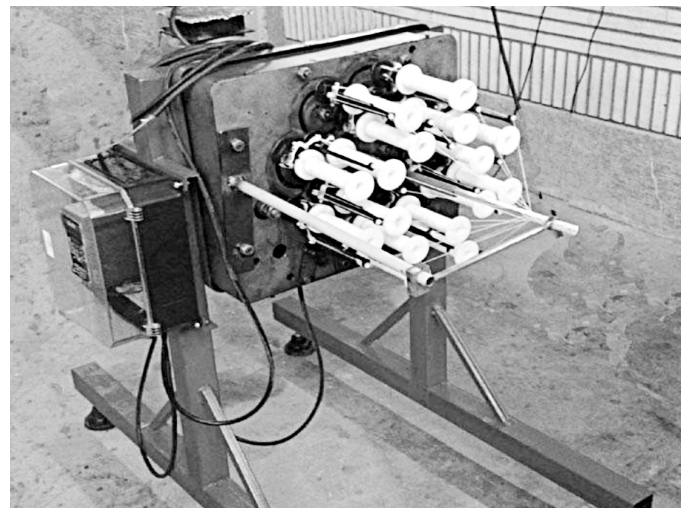
ساختارهای رشته‌پیچی شده از جهاتی به ساختارهای قیطانی شباهت دارند، با این تفاوت که در آن‌ها رشته‌ها در هم بافته نمی‌شوند، بلکه به شکل مورب در مسیر رفت و برگشتی در کنار هم قرار می‌گیرند. در این روش رشته‌های دسته الیاف (roving) پس از بازشدن از روی بوبین‌ها، وارد حمام رزین می‌شوند که حاوی مخلوطی از رزین، کاتالیزور یا عامل پخت و مواد افزودنی است.

پس از آغشته‌شدن الیاف و تنظیم حجم رزین عبوری، رشته‌ها به شکل نواری با عرض مشخص و با زاویه معین به‌طور رفت و برگشتی روی قالب استوانه‌ای پیچیده می‌شوند. پس از قرار دادن مجموعه داخل اتوکلاو و پخت رزین قالب از کامپوزیت جدا می‌شود [۴].

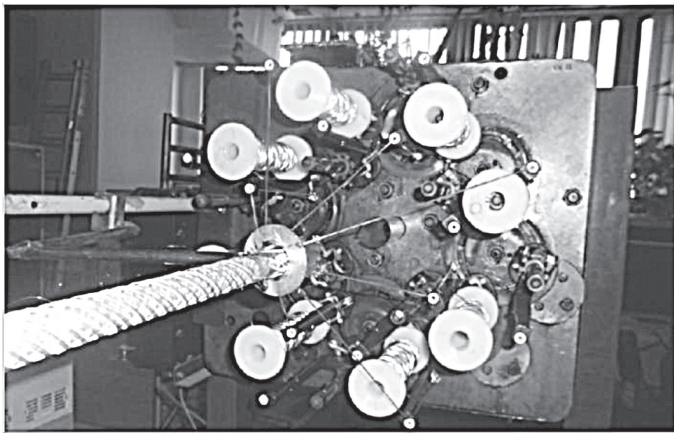
نظر به کاربرد فراوان و اهمیت زیاد ساختارهای ذکر شده در مواد کامپوزیتی، برخی از پژوهشگران خواص مکانیکی را در کامپوزیت‌های لوله‌ای قیطانی ارزیابی کرده‌اند [۵-۸]. همچنین، جنبه‌هایی از رفتار مکانیکی کامپوزیت‌های رشته‌پیچی شده در چند کار پژوهشی بررسی شده است [۹-۱۳]. شایان ذکر است، با وجود پژوهش‌های گسترده توسط مؤلفان، کاری در زمینه مقایسه رفتار فشاری کامپوزیت‌های قیطانی و رشته‌پیچی شده با شرایط تولید یکسان، مشاهده نشد. بنابراین، با توجه به اینکه یکی از کاربردهای کامپوزیت‌های لوله‌ای، استفاده از آن‌ها به عنوان اجزای فشاری است، هدف از پژوهش حاضر، تولید ساختارهای مشابه کامپوزیتی قیطانی و رشته‌پیچی و بررسی و مقایسه رفتار ساختارهای مزبور زیر بار فشاری است.



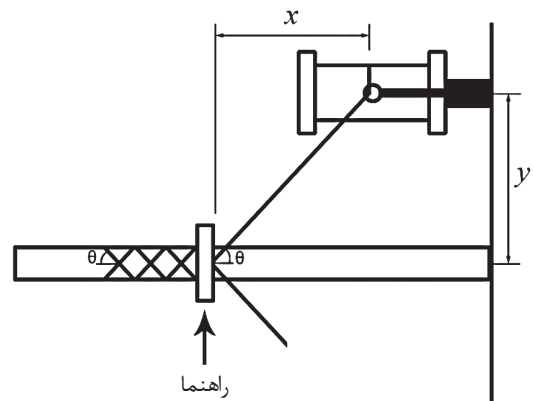
شکل ۲- راهنمای دستگاه قیطان‌بافی با قابلیت تنظیم طول.



شکل ۱- نمای از دستگاه قیطان‌بافی بهینه‌سازی شده.



شکل ۴- دستگاه قیطان‌بافی حین بافت نمونه رشته‌پیچی شده.



شکل ۳- طرحی از منطقه بافت در دستگاه قیطان‌بافی.

شده قیطانی و رشته‌پیچی نشان داده شده‌اند. هر چند که از نظر تعداد لایه، هر لایه در ساختار قیطانی معادل دو لایه در ساختار رشته‌پیچی است، اما به علت وجود بافت‌رفتگی در قیطان، مقدار الیاف مصرف شده در دو ساختار مزبور برابر نیستند. از آنجا که یکی از پارامترهای مهم و اثرگذار بر خواص مکانیکی کامپوزیت‌ها درصد حجمی الیاف در آن‌هاست. در پژوهش حاضر، کامپوزیت‌های قیطانی و رشته‌پیچی از دو لحاظ با یکدیگر مقایسه شدند. یکی با در نظر گرفتن درصد حجمی الیاف یکسان و دیگری با در نظر گرفتن تعداد لایه یکسان در ساختار. در حالت اول، پس از انجام چند آزمون سوزاندن (burn-off test)، نمونه‌ها در کوره قرار گرفته تا رزین موجود در کامپوزیت بسوزد. سپس، الیاف باقی مانده توزین و درصد وزنی الیاف با توجه به وزن نمونه پیش از آزمون به دست می‌آید. در نمونه‌های کامپوزیتی مختلف مشخص شد که یک کامپوزیت قیطانی ۳ لایه به لحاظ درصد حجمی الیاف معادل با یک کامپوزیت رشته‌پیچی شده ۸ لایه است. بنابراین برای انجام آزمون تجربی، سه نمونه مختلف به شرح زیر تولید شد:

- نمونه قیطانی ۳ لایه،
- نمونه قیطانی ۴ لایه و
- نمونه رشته‌پیچی شده ۸ لایه.

تزیق رزین

در این کار از رزین پلی‌استر ایزوفتالیک غیراشباع به عنوان ماتریس، کبالت نفتانات ۱۰٪ به عنوان سرعت‌دهنده پخت و متیل اتیل کتون

دوران می‌کنند و عکس کردن جهت دوران در لایه‌های بعدی، روش رشته‌پیچی شبیه‌سازی شده و نمونه‌هایی با ساختار رشته‌پیچی شده تولید می‌شود. با این کار، به علت برقراری شرایط تولید یکسان برای ساخت نمونه‌های قیطانی و رشته‌پیچی شده، رفتار مکانیکی آنها با دقت بیشتری مقایسه و اثر پارامترهای ساختاری بر رفتار فشاری با اطمینان بیشتر مطالعه شد. در شکل ۴ دستگاه قیطان‌بافی حین بافت نمونه رشته‌پیچی شده نشان داده شده است.

تمام نمونه‌ها با استفاده از دسته الیاف شیشه تولید شدند. مشخصات دسته شیشه استفاده شده در جدول ۱ آمده است.

برای تولید نمونه‌ها ابتدا دسته الیاف شیشه روی بوبین‌های مخصوص ماشین قیطان‌بافی پیچیده شدند. سپس، این بوبین‌ها روی ماشین قیطان‌بافی سوار شدند. نمونه‌های قیطانی با طرح منظم ۲/۲ تولید شدند. سرعت ماشین و سرعت برداشت نمونه‌های رشته‌پیچی دقیقاً مشابه با بافت قیطانی تنظیم شد. قالبی که در محور ماشین قیطان‌بافی قرار گرفت تا بافت قیطانی و رشته‌پیچی روی آن انجام شود، میله پلی‌آمیدی با قطر ۱۵/۵ mm بود. برای سهولت جداسازی کامپوزیت از قالب پس از رزین‌زنی، از افشانه سیلیکونی روی قالب استفاده شد.

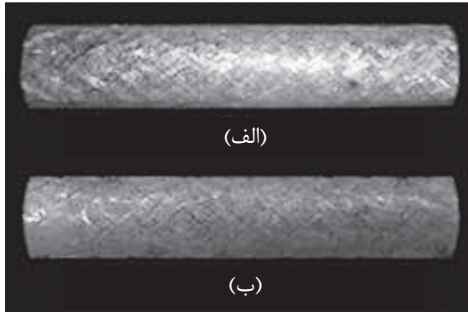
برای تولید ساختار چندلایه، پس از هر مرحله بافت، قالب از دستگاه خارج شده و مجدداً در مرکز دستگاه قرار می‌گرفت. در نمونه رشته‌پیچی شده، پس از پیچش هر لایه، جهت دوران قرقره‌ها عکس شد تا مشابه روش رشته‌پیچی ساختاری با زوایای مثبت و منفی در لایه‌های مجاور ایجاد شود. زاویه قیطان و همچنین زاویه مارپیچ در نمونه رشته‌پیچی روی ۴۵° تنظیم شد. در شکل ۵ نمونه‌های بافته

جدول ۱- مشخصات دسته الیاف (roving) شیشه استفاده شده.

نام تجاری	چگالی خطی (tex)	شرکت سازنده	چگالی (g/cm ³)	مقاومت کششی (MPa)	مدول کششی (MPa)
ER-469L	۶۰۰	CPIC - چین	۲/۵	۱۷۰۰	۷۳۰۰۰

جدول ۲- مشخصات رزین استفاده شده.

نام تجاری	شرکت سازنده	چگالی (g/cm ³)	مقاومت کششی (MPa)	مدول کششی (MPa)
۷۵۱۱۲۹	شرکت صنایع شیمیایی بوشهر	۱/۱	۵۵	۴۰۰۰



شکل ۷- تصویری از کامپوزیت‌های تولیدی: (الف) قیطانی و (ب) رشته‌پیچی شده.

تصویری از نمونه‌های کامپوزیتی تولید شده با دو ساختار مزبور در شکل ۷ آمده است. پس از تولید لوله‌های کامپوزیتی، تعدادی نمونه از هر نوع لوله برای تعیین مقدار واقعی درصد حجمی الیاف در آزمون سوزاندن قرار گرفتند. در این آزمون نمونه‌ها پس از توزین، به مدت ۹۰ min در کوره‌ای با دمای 600°C قرار گرفتند تا رزین پلی‌استر به‌طور کامل بسوزد و از بین رود. سپس، با توزین الیاف بر جای مانده درصد حجمی الیاف برای هر لوله محاسبه شد. مشخصات لوله‌های تولیدی در جدول ۳ آمده است. در کدگذاری لوله‌ها B و F به ترتیب نشانگر لوله‌های کامپوزیتی قیطانی و رشته‌پیچی شده است و پسوند‌های 3L و 4L تعداد لایه‌های پیش‌ساخته قیطانی را نشان می‌دهد.

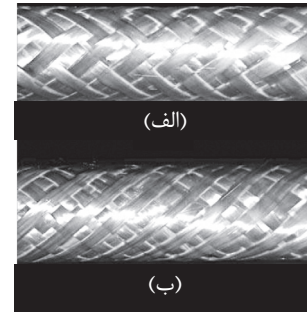
نکته جالب توجه این است که در نمونه B.4L با وجود استفاده از الیاف بیشتر در واحد طول لوله نسبت به نمونه F، درصد حجمی الیاف کمتر است. این مسئله به این دلیل است که در نمونه B.4L به علت موج‌دار بودن و بافت‌رفتگی، قطر لوله افزایش می‌یابد و در نتیجه فضای بیشتری برای تجمع رزین به‌وجود می‌آید. بنابراین، افزایش حجم رزین در ساختار سبب کاهش درصد حجمی الیاف شده است.

انجام آزمون فشار

از آنجا که روش استاندارد مشخصی برای انجام آزمون فشار روی لوله‌های کامپوزیتی تدوین نشده است، این آزمون بر اساس روش گزارش شده در پژوهشی مشابه [۸] انجام شد. آزمون فشار به کمک دستگاه آزمون خواص مکانیکی GUNT مدل WP 310 ساخت کشور آلمان انجام شد. برای انجام آزمون، از هر کد، پنج نمونه با طول ۱۰ cm برش داده شد. در برش ابتدا و انتهای نمونه‌ها دقت زیادی شد تا نمونه به‌طور کاملاً عمودی بین دو فک دستگاه قرار گیرد. فاصله دو فک ۱۰ cm تنظیم شد. سپس هر یک از نمونه‌ها در بین دو فک دستگاه قرار گرفتند و با سرعت ۱ mm/min زیر بار فشاری قرار گرفتند.

جدول ۳- مشخصات لوله‌های کامپوزیتی تولیدی.

کد لوله	زاویه بافت	درصد حجمی الیاف (%)	ضخامت جداره لوله (mm)
B.3L	۴۵	۶۰	۱/۵
B.4L	۴۵	۴۵	۱/۷
F	۴۵	۶۰	۱/۵



شکل ۵- نمونه‌های بافته‌شده: (الف) قیطانی و (ب) رشته‌پیچی روی قالب.

پراکسید (MEK) به عنوان آغازگر پخت، استفاده شد. مشخصات رزین استفاده شده در جدول ۲ آمده است. در این پژوهش، از فرایند نفوذ در خلأ برای رزین زنی به نمونه‌ها استفاده شد. طرح کلی این فرایند در شکل ۶ نشان داده شده است.

مراحل آغشته‌سازی در فرایند مزبور به شرح زیر انجام شد:

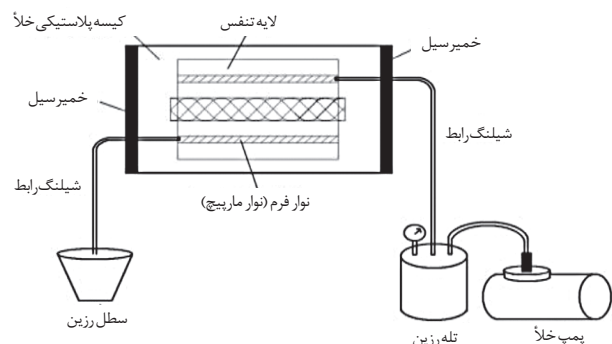
الف- به دور نمونه‌های قیطانی و رشته‌پیچی شده، یک لایه تفلون که منافذی در آن ایجاد شده بود، پیچیده شد. منافذ مزبور به علت کمک به نفوذ رزین به داخل الیاف ایجاد شد. استفاده از این لایه باعث می‌شود که باقی اجزای سامانه به نمونه نچسبد.

ب- در مرحله بعد نوار فرم که یک نوار ماریپیچ پلاستیکی است و وظیفه مهیا کردن مسیر عبور رزین و مکش هوا را دارد، در سرتاسر طول نمونه قرار داده شد. لایه تنفس برای جذب رزین‌های اضافی و نیز انتقال خلأ به تمام سطح قطعه به دور این مجموعه پیچیده شد.

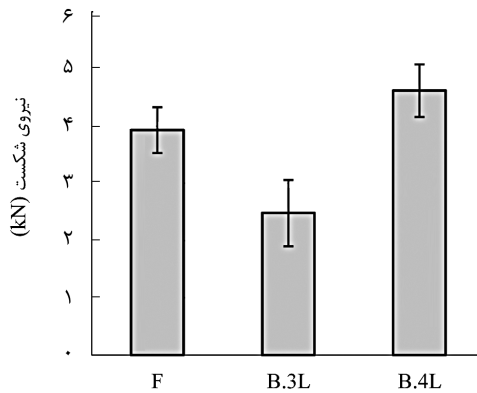
ج- شیلنگ رابط تغذیه رزین و شیلنگ مکش خلأ در داخل مجموعه نصب شد.

د- دو طرف کیسه خلأ با نوار آب‌بندی یا خمیر سیل، آب‌بندی شد تا از ورود هوا به سامانه و در نتیجه به‌وجود آمدن حفره در نمونه کامپوزیتی جلوگیری شود.

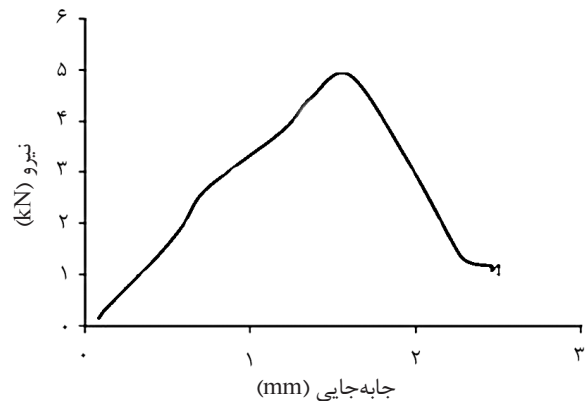
ه- پس از اتصال مجرای خلأ به پمپ خلأ و بسته نگه‌داشتن مجرای ورود رزین، پمپ روشن شد تا هوای درون کیسه خارج شود. سپس، تزریق رزین با قراردادن شیلنگ تغذیه در داخل سطل رزین انجام شد.



شکل ۶- طرح کلی فرایند VIP برای تزریق رزین به نمونه‌های بافته شده قیطانی و رشته‌پیچی شده.



شکل ۹- نیروی شکست فشاری نمونه‌های تولیدی.

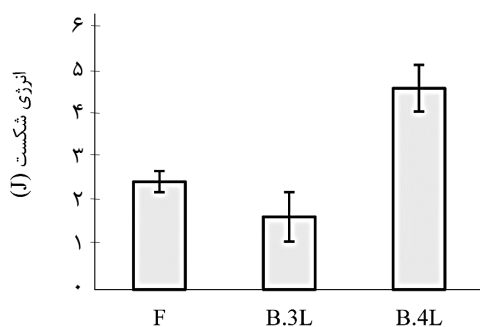


شکل ۸- نمودار نوعی نیرو - جابه‌جایی برای لوله‌های کامپوزیتی مورد مطالعه.

نتایج و بحث

رشته‌پیچی شده به‌طور قابل ملاحظه‌ای بیشتر است. همان‌طور که در جدول ۳ پیداست، نمونه B.4L به دلیل دارا بودن ۴ لایه قیطانی و به دلیل موج‌دار و حجیم بودن لایه‌ها از ضخامت جداره بیشتری نسبت به نمونه F برخوردار است. ضخامت بیشتر جداره سبب افزایش سطح زیر بار و در نتیجه ثبات بیشتر ساختار به هنگام اعمال نیروی فشاری می‌شود و تا حد زیادی از کماتش لوله هنگام اعمال فشار جلوگیری می‌کند. دلیل مزبور می‌تواند توجه‌کننده خواص زیاد فشاری نمونه B.4L باشد. افزایش چشمگیر انرژی شکست در نمونه مزبور نسبت به سایر نمونه‌های مؤید دلیل گفته شده است. چرا که ثبات ساختاری مطلوب نمونه حین اعمال بار سبب می‌شود، B.4L جابه‌جایی بیشتری پیش از شکست ساختار و بدون کماتش تجربه کند.

شکل ۱۱ تفاوت حالت شکست را در نمونه‌های B.4L و F نشان می‌دهد. بنابراین مشخص می‌شود، به علت بافت‌رفتگی و موج‌دار بودن در ساختار قیطانی، می‌توان قطعات رشته‌پیچی شده را با ضخامت یکسان اما تعداد رشته‌های تقویت‌کننده بیشتر در سطح مقطع تولید کرد. همچنین، دستیابی به مقادیر زیاد درصد حجمی در کامپوزیت‌های قیطانی در مقایسه با کامپوزیت‌های رشته‌پیچی شده مشکل‌تر است، چرا که بافت‌رفتگی ساختار، فضای بیشتری را برای تجمع رزین فراهم می‌آورد که این عامل نیز علاوه بر اثر اعوجاج رشته‌ها سبب افت خواص مکانیکی ماده می‌شود. بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد، در مواردی که صرفاً خواص محوری کامپوزیت (کششی و فشاری) حائز اهمیت است، کامپوزیت‌های رشته‌پیچی شده کارایی بیشتری نسبت به کامپوزیت‌های قیطانی دارند.



شکل ۱۰- انرژی شکست فشاری نمونه‌های تولیدی.

پس از انجام آزمون فشار نیروی شکست برای هر یک از نمونه‌ها به‌دست آمد. همچنین، با محاسبه سطح زیر نمودار نیرو - جابه‌جایی، انرژی شکست نمونه‌ها محاسبه شد. سپس، میانگین نیروی شکست و انرژی شکست برای هر کد لوله به‌دست آمد. پس از مقایسه نتایج مشخص شد، تمام نمودارها از یک حالت مشابه پیروی می‌کنند. یک نمودار نوعی نیرو - جابه‌جایی برای میله‌های کامپوزیتی مورد مطالعه در شکل ۸ نشان داده شده است. جدول ۴ نتایج حاصل از آزمون فشار را برای لوله‌های تولیدی نشان می‌دهد. برای تجزیه و تحلیل داده‌های آماری نتایج، روش تحلیل واریانس یک طرفی در سطح اطمینان ۹۵٪ با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS به‌کار گرفته شد.

شکل‌های ۹ و ۱۰ به ترتیب نیروی شکست و انرژی شکست را برای نمونه‌های قیطانی و رشته‌پیچی شده نشان می‌دهد. همان‌طور که در جدول ۴ دیده می‌شود، نمونه رشته‌پیچی شده نسبت به نمونه قیطانی معادل، با درصد حجمی یکسان (نمونه B.3L) نیرو و انرژی شکست بیشتری دارد. این مسئله به علت وجود تعداد لایه‌های کمتر در ساختار قیطانی توجه می‌شود. در واقع از آنجا که نمونه B.3L، ۳ لایه است و هر لایه قیطانی متشکل از ۱۶ رشته دسته الیاف شیشه است، در مجموع در سطح مقطع نمونه B.3L، ۴۸ رشته دسته الیاف قرار دارد که در مقابل نیروی فشاری مقاومت می‌کنند. اگر در سطح مقطع نمونه F، ۶۴ رشته وجود دارد (به علت وجود ۸ لایه ۸ رشته‌ای)، که این مسئله سبب افزایش نیرو و انرژی شکست فشاری نمونه F می‌شود. با مقایسه رفتار فشاری نمونه‌های B.4L و F در جدول ۴، دیده می‌شود که نیروی شکست و انرژی شکست در ساختار قیطانی چهار لایه نسبت به ساختار

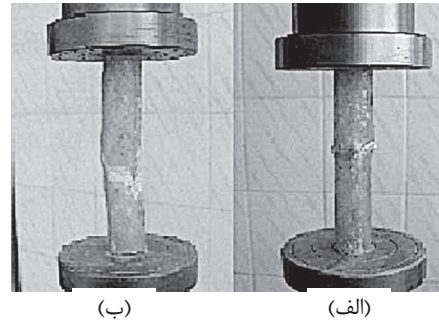
جدول ۴- نتایج حاصل از آزمون فشار.

کد لوله	میانگین نیروی شکست (kN)	میانگین انرژی شکست (J)
B.3L	۲/۴۸ (۰/۵۸)	۱/۵۹ (۰/۵۴)
B.4L	۴/۶۲ (۰/۴۶)	۴/۴ (۰/۵۱)
F	۳/۹۳ (۰/۴)	۲/۳۶ (۰/۲۳)

زیر بار فشاری مطالعه و مقایسه شد. بدین منظور پیش‌ساخته‌های قیطنی و رشته‌پیچی شده با الیاف شیشه به وسیله دستگاه قیطان‌بافی پروانه‌ای تولید و به کمک فرایند نفوذ در خلأ به رزین پلی‌استر غیراشباع آغشته شد. مقایسه نمونه‌های قیطنی و رشته‌پیچی شده به دو لحاظ مد نظر قرار گرفت. یکی با در نظر گرفتن درصد حجمی الیاف یکسان که در این حالت به دلیل وجود بافت‌رنگی در قیطنی، این ساختار با تعداد لایه‌های کمتری نسبت به رشته پیچی شده تولید شد و دیگری با در نظر گرفتن تعداد لایه‌های یکسان و درصد حجمی الیاف متفاوت.

نتایج آزمون فشار نشان داد، نمونه رشته‌پیچی شده نسبت به نمونه قیطنی معادل با درصد حجمی الیاف یکسان، نیروی شکست و انرژی شکست بیشتری دارد که این مسئله به علت وجود تعداد رشته تقویت کننده بیشتر در سطح مقطع است.

از سوی دیگر، نمونه قیطنی با تعداد لایه یکسان نسبت به رشته پیچی شده به علت برخورداری از ضخامت زیاد جداره و در نتیجه ثبات ساختاری بیشتر هنگام اعمال نیرو، دارای بیشترین نیروی شکست و انرژی شکست فشاری است. در این پژوهش مشخص شد، کامپوزیت‌های رشته پیچی شده نسبت به کامپوزیت‌های قیطنی به علت نبود اعوجاج در ساختار و امکان دستیابی به مقادیر بیشتر درصد حجمی الیاف، کارایی بیشتری زیر بارهای فشاری نشان می‌دهند.



شکل ۱۱ - حالت شکست در کامپوزیت‌های لوله‌ای: (الف) نمونه B.4L و (ب) نمونه F.

در نتیجه به نظر می‌رسد، مزیت کامپوزیت‌های قیطنی را باید در مواردی از قبیل مقاومت در برابر بارهای ضربه‌ای یا بارهای متناوب جست و جو کرد، چرا که در هم تنیدگی رشته‌ها در آن‌ها می‌تواند به عنوان عاملی مقاوم در برابر جدایی لایه‌ها (delamination) عمل کند.

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، رفتار لوله‌های کامپوزیتی قیطنی و رشته پیچی شده

مراجع

- Gay D., Hoa S.V., and Tsai S.W., *Composite Materials*, CRC, New York, 2003.
- Jones R.M., *Mechanics of Composite Materials*, McGraw Hill, New York, 1975.
- Long A.C. (Ed.), *Design and Manufacture of Textile Composites*, CRC, Boca Raton, FL, 2005.
- Composite fabrication by filament winding – an insight, technology information forecasting and assessment council (TIFAC), <http://www.tifac.org.in> (Last visited 11 April 2013).
- Karbhari M., Falzon P.L., and Herzberg I., Energy absorption characteristics of hybrid braided composite tubes, *J. Compos. Mater.*, 31, 1164-1186, 1997.
- Chiu C.H., Tsai K.H., and Huang W.J., Effects of braiding parameters on energy absorption capability of triaxially braided composite tubes, *J. Compos. Mater.*, 32, 1946-1983, 1998.
- Quek S.C., Waas A.M., Hoffman J., and Agaram V., The crushing response of braided and CSM glass reinforced composite tubes, *Compos. Struct.*, 52, 103-111, 2001.
- Harte A.M. and Fleck N.A., Deformation and failure mechanisms of braided composite tubes in compression and torsion, *Acta. Mater.*, 48, 1259-1271, 2000.
- Mertiny P. and Ellyin F., Influence of the filament winding tension on physical and mechanical properties of reinforced composites, *Composites (Part A)*, 33, 1615-1622, 2002.
- Bai J., Seeleuthner P., and Bompard P., Mechanical behavior of $\pm 55^\circ$ filament-wound glass-fibre/epoxy-resin tubes: I. Microstructural analyses, mechanical behavior and damage mechanisms of composite tubes under pure tensile loading, pure internal pressure, and combined loading, *Compos. Sci. Technol.*, 57, 141-153, 1997.
- Tarakçioğlu N., Gemi L., and Yapıcı A., Fatigue failure behavior of glass/epoxy $\pm 55^\circ$ filament wound pipes under internal pressure, *Compos. Sci. Technol.*, 65, 703-708, 2004.
- Erdiller E.S., *Experimental Investigation for Mechanical Properties of Filament Wound Composite Tube*, MSc Thesis, Mechanical Engineering, The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical, July 2004.
- Kaynak C. and Mat O., Uniaxial fatigue behavior of filament-wound glass-fiber/epoxy composite tubes, *Compos. Sci. Technol.*, 61, 1833-1840, 2001.
- Ahmadi M.S., Johari M.S., Sadighi M., and Esfandeh M., An experimental study on mechanical properties of GFRP braid-pultruded composite rods, *Express Polym. Lett.*, 9, 560-568, 2009.

Compression Strength of Braided and Filament-wound Tubular Composites

Z. Tadi Beni¹, M.S. Johari², and M.S. Ahmadi^{3,*}

1. Textile Engineering Department, Isfahan University of Technology, P.O. Box: 84156-83111, Isfahan, Iran

2. Textile Engineering Department, Amirkabir University of Technology, P.O. Box: 15875-4413, Tehran, Iran

3. Textile Engineering Department, Yazd University, P.O. Box: 89195-741, Yazd, Iran

Received 25 February 2013; Accepted 12 April 2013

Abstract

Braided and filament-wound tubular composites were produced by various glass fiber preform structures on a cylindrical mandrel using a modified maypole braiding machine. The composites were then impregnated with unsaturated polyester resin by vacuum infusion process (VIP). After performing compression test on the samples and calculating the failure force and failure energy, it was observed that the filament-wound sample displayed higher compression properties than those of braided samples with the same fiber volume percent. This was due to having more reinforcing layers with more reinforcing strands for compensating the effect of waviness in its braided counterpart. The results showed that the braided samples, with the same number of layers with the filament-wound tubes but different fiber volume percentage, show the highest compression failure force and energy. The reason for this phenomenon was attributed to higher tube wall thickness in the braided sample and consequently more stable behavior during compression loading.

Keywords

composite,
tube,
braiding,
filament winding,
compression strength.

(*) Address Correspondence to M.S. Ahmadi, Email: ms.ahmadi@yazd.ac.ir