

بررسی اثر دوخت لایه‌های تقویت‌کننده بر استحکام ضربه پاندولی کامپوزیت‌های شیشه - اپوکسی

مریم منادی^۱، هوشنگ نصرتی^۲، مجید طهرانی دهکردی^۳

۱ کارشناس ارشد مهندسی نساجی، دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، maryam.monadi@aut.ac.ir

۲ دانشیار دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران

۳ استادیار گروه فرش، دانشکده هنر، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۰/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۲/۲۲

چکیده

معمولاً به منظور بهبود عملکرد کامپوزیت‌های پلیمری در برابر ضربه، از روش دوخت در راستای ضخامت تقویت‌کننده استفاده می‌شود. در این مقاله اثر برخی از پارامترهای دوخت بر خواص ضربه پاندولی کامپوزیت‌های تقویت‌شده با پارچه شیشه بررسی شده است. برای تهیه کامپوزیت‌ها از لایه‌های پارچه شیشه با بافت تافته به‌عنوان تقویت‌کننده و رزین اپوکسی به‌عنوان ماتریس استفاده شده است. نمونه‌های کامپوزیتی به‌روش لایه‌گذاری دستی تهیه شده‌اند. برای مشاهده اثر دوخت بر عملکرد ضربه پاندولی کامپوزیت‌ها یک نمونه بدون دوخت برای مقایسه با نمونه‌های دوخته‌شده تولید شده است. به‌منظور بررسی اثر زاویه دوخت، لایه‌های تقویت‌کننده با زاویه‌های صفر، ۴۵ و ۹۰ درجه و ترکیبی از این زوایا توسط ماشین دوخت صنعتی به‌هم دوخته شده‌اند. همچنین برای مشاهده اثر نحوه دوخت لایه‌های مختلف، لایه‌های پارچه در سه حالت متفاوت دوخته شده‌اند. نتایج آزمایش‌های ضربه پاندولی بر نمونه‌های بررسی‌شده نشان می‌دهد که نحوه دوخت لایه‌های مختلف و زاویه‌های دوخت متفاوت بر انرژی جذب‌شده توسط نمونه تأثیرگذار بوده است. همچنین نمونه دوخته‌نشده در مقایسه با سایر نمونه‌ها کمترین مقدار انرژی ضربه‌ای جذب‌شده را دارد.

واژگان کلیدی: کامپوزیت، پارچه شیشه، ضربه پاندولی، دوخت در راستای ضخامت

۱. مقدمه

ضخامت، حتی بر اثر برخورد پرتابه‌هایی با سرعت کم نیز دچار تورق (جدایی لایه‌ها) می‌شوند [۳]. کامپوزیت‌های مورد استفاده در بدنه قایق‌های تفریحی، کشتی‌ها و ناوها در اثر برخورد با اشیای شناور یا ضربه‌های ناشی از برخورد با لنگر در آب‌های عمیق ممکن است دچار تخریب شوند. مشاهده این آسیب، به خصوص وقتی سازه آسیب‌دیده در زیر خط برخورد آب و کشتی

امروزه کامپوزیت‌ها به‌سبب تأمین نیازهای بشر در جمع‌آوری خواص مطلوب در قالب یک ساختار، به‌طور گسترده به‌کار می‌روند [۱]. در کنار خواص مطلوبی که این ساختارها فراهم می‌کنند، مقاومت ناچیز در برابر تخریب ناشی از ضربه و خصوصیات مکانیکی ضعیف آنها پس از ضربه، از جمله معایب آنها محسوب می‌شود [۲]. کامپوزیت‌ها به‌دلیل استحکام ضعیف در جهت

قرار دارد دشوار است. آسیب ناشی از ضربه در بارگذاری‌های کششی، فشاری، خمشی و خستگی ممکن است خصوصیات مکانیکی درون صفحه‌های سازه را به شدت کاهش دهد [۴].

تاکنون از روش‌های متنوعی برای بهبود مقاومت در برابر جدایی لایه‌ها و ویژگی‌های مکانیکی پس از ضربه کامپوزیت‌های دوبعدی استفاده شده است. از جمله این روش‌ها می‌توان به سخت‌کردن شیمیایی و لاستیکی رزین و عملیات شیمیایی و پلازما روی الیاف اشاره کرد. این روش‌ها در بهبود مقاومت در برابر آسیب‌های ناشی از ضربه‌های کم‌انرژی مؤثرند، هرچند هر یک از روش‌های مذکور معایبی دارند که استفاده از آنها را در ساختارهای کامپوزیتی بزرگ محدود می‌کند. بزرگ‌ترین مشکل روش‌های مذکور، هزینه زیاد آنهاست [۵].

از اواخر دهه ۱۹۶۰ م، برای غلبه بر نقائص کامپوزیت‌های دوبعدی، انواع گوناگونی از مواد کامپوزیتی با تقویت‌کننده‌هایی با ساختار لیفی سه‌بعدی (با به هم پیوستن الیاف در راستای ضخامت) تولید شدند [۴]. دوخت در راستای ضخامت از جمله مؤثرترین روش‌های بهبود مقاومت در برابر تورق بین‌لایه‌ای کامپوزیت‌ها است که از نظر اقتصادی و تکنیکی روش قابل قبولی می‌باشد [۶]. فرایند دوخت به وسیله قرار دادن نخ در راستای ضخامت در یک پیش‌شکل دوبعدی به‌عنوان یک مرحله پردازش ثانویه در ادامه لایه‌گذاری مشخص می‌شود [۴].

تاکنون اثر دوخت و پارامترهای مربوط به آن توسط پژوهشگران زیادی به صورت نظری و تجربی بررسی شده است. کنگ^۱ و همکاران (۱۹۹۴) دریافتند که لمینیت‌های دوخته‌شده، نیروی خارج از صفحه را بهتر تحمل می‌کنند و انرژی بیشتری حین رشد ترک بین‌لایه‌ای جذب می‌نمایند [۷]. کامپوزیت‌های پلیمری دوخته‌شده رفتار متفاوتی نسبت به نمونه معمول نشان می‌دهند. کانوا^۲ و همکاران (۱۹۹۳) خواص مکانیکی و رفتار کامپوزیت‌های پلیمری دوخته‌شده، پس از تست ضربه را بررسی نمودند [۸]. نتایج این بررسی نشان داد فاکتورهایی چون اندازه شبکه، شکل دوخت و درصد حفره، عملکرد کامپوزیت و فرایند تورق درون‌لایه‌ای را تقویت می‌کند. نای^۳ و همکاران (۲۰۰۸) اثر فاصله ردیف‌های دوخت بر خواص مکانیکی کامپوزیت‌های سیلیکون کاربید تقویت‌شده با الیاف شیشه را بررسی نمودند [۹]. این پژوهشگران دریافتند که استحکام کششی و برشی کامپوزیت‌های دوخته‌شده به سبب جلوگیری و به تأخیر افتادن

تورق توسط دوخت، بهبود یافته است. اسمیت^۴ و همکاران (۱۹۸۹) و لیو^۵ (۱۹۹۰) تأثیر تراکم دوخت و الگوی دوخت را بر الگوی خرابی ضربه بررسی کردند و دریافتند شکل تورق به‌طور قابل توجهی با الگوی دوخت تغییر می‌کند [۱۰-۱۱]. شارما^۶ و همکاران نیز در پژوهش‌هایی دریافتند که چگالی دوخت نسبت به سختی و استحکام نخ دوخت از اهمیت بیشتری برخوردار است. همچنین دوخت سبب کاهش استحکام فشاری بهمیزان تقریباً ۱۰ درصد شده است [۱۲-۱۳].

همان‌گونه که نتایج پژوهش‌های فوق نشان می‌دهد، دوخت تقویت‌کننده دوبعدی در راستای ضخامت سبب بهبود عملکرد ضربه‌ای کامپوزیت و کاهش تورق درون‌لایه‌ای شده است. از اینرو در این مقاله اثر برخی از پارامترهای دوخت، از جمله زاویه دوخت و نحوه دوخت لایه‌های مختلف بر خواص ضربه پاندولی کامپوزیت‌های تقویت شده با پارچه شیشه بررسی شده است.

۲. تجربیات

۲-۱. مواد اولیه

در پژوهش حاضر از پارچه تار-پودی از جنس شیشه به‌عنوان تقویت‌کننده استفاده شد. طرح بافت پارچه مورد استفاده تافته، ضخامت آن ۰/۲۸ میلی‌متر و وزن واحد سطح آن ۱۹۵ گرم بر متر مربع است. تراکم نخ‌های تار و پود یکسان و برابر با ۶/۷ نخ بر سانتی‌متر است. برخی خواص نخ‌های به‌کار رفته به‌عنوان نخ تار و پود و همچنین خواص نخ دوخت در جدول ۱ ذکر شده است.

جدول ۱. مشخصات نخ‌های تار و پود پارچه و نخ دوخت

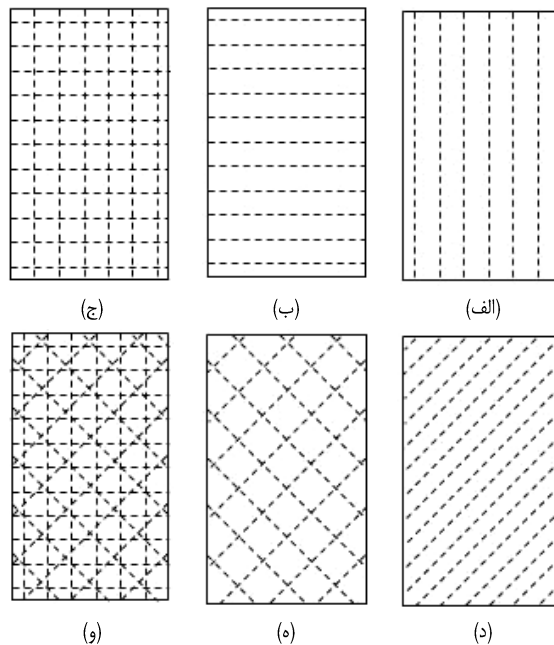
مشخصات	جنس	نمره (تکس)	مقاومت مخصوص (گیگاپاسکال)
نخ تار	شیشه	۱۳۶	۳/۸۶
نخ پود	شیشه	۱۳۶	۳/۸۶
نخ دوخت	نایلون	۸۰	۶۰/۷۵

۲-۲. ساخت کامپوزیت

با توجه به ساختار نهایی نمونه‌های متنوع کامپوزیت، پارچه‌های شیشه‌ای تقویت‌کننده به صورت چهار و هشت‌لایه به ابعاد ۳۰×۳۰ سانتی‌متر روی هم قرار گرفته و با زاویه‌های مشخص توسط ماشین دوخت آدلر ۲۷۱ به هم دوخته شدند. در تمامی

نمونه‌ها، پارامترهای گام دوخت و فاصله ردیف‌های دوخت ۴ میلی‌متر در نظر گرفته شدند. برای بررسی اثر نحوه دوخت لایه‌های مختلف بر خواص ضربه‌ای کامپوزیت سه حالت در نظر گرفته شد. برای تهیه تقویت‌کننده حالت اول، هشت لایه پارچه شیشه به هم دوخته شدند. برای تهیه تقویت‌کننده حالت دوم دو بخش در نظر گرفته شد که هر بخش شامل چهار لایه پارچه شیشه دوخته شده به یکدیگر بود. تقویت‌کننده حالت سوم نیز از یک بخش چهارلایه‌ای دوخته شده و چهار لایه پارچه بدون دوخت تهیه گردید. در تمامی نمونه‌های اشاره شده، زاویه دوخت صفر درجه است. منظور از زاویه دوخت، زاویه‌ای است که بین ردیف‌های دوخت و راستای نخ‌های تار در پارچه ایجاد می‌شود. برای بررسی تأثیر زاویه دوخت، هشت لایه پارچه تحت سه زاویه صفر، ۴۵ و ۹۰ درجه و ترکیب این سه زاویه به هم دوخته شدند. در شکل ۱ نمایی از تقویت‌کننده‌ها با زوایای دوخت

مختلف نمایش داده شده است. برای مقایسه و بررسی اثر دوخت بر مقاومت ضربه‌ای، یک نمونه هشت‌لایه‌ای بدون دوخت نیز به‌عنوان نمونه شاهد تهیه شده است. در کامپوزیت‌های ساخته شده رزین اپوکسی ML-506 شرکت مکرر کشور ایران به‌عنوان زمینه و HA11 محصول همان شرکت به‌عنوان هاردنر استفاده شده است. برای تهیه رزین، ۱۵ واحد حجمی هاردنر با ۱۰۰ واحد حجمی رزین مخلوط شده است. در این مقاله از روش لایه‌گذاری دستی برای تهیه کامپوزیت‌ها استفاده شده است. پس از مرحله آماده‌سازی، نمونه‌ها تحت فشاری معادل ۸ کیلوپاسکال و برای ۴ روز در شرایط محیط قرار داده شد. سپس از قالب خارج شدند و برای یک هفته بدون اعمال فشار در شرایط محیط قرار گرفتند تا عملیات پخت کامل شود. در جدول ۲ مشخصات کامپوزیت‌های ساخته شده آمده است.



شکل ۱. نمایی از نمونه‌های کامپوزیت با زوایای دوخت مختلف

(الف) صفر درجه، (ب) ۹۰ درجه، (ج) صفر و ۹۰ درجه، (د) ۴۵ درجه، (ه) ۴۵ درجه، (و) صفر، ۹۰ و ± 45 درجه

۳-۲. آزمون ضربه

برای اندازه‌گیری مقاومت در برابر ضربه کامپوزیت‌ها از آزمون ضربه پاندولی استفاده شده است. در این روش، یک پاندول از ارتفاع مشخص رها می‌شود و پس از برخورد با نمونه و شکستن آن از سمت دیگر تا ارتفاع معین بالا می‌رود. مقداری از انرژی

جنبشی پاندول در اثر اصابت به نمونه و شکستن آن کاسته شده و به این ترتیب سرعت آن کم می‌شود. در اثر کاهش سرعت و انرژی جنبشی، پاندول به ارتفاع اولیه بازمی‌گردد. با محاسبه اختلاف ارتفاع ایجاد شده مطابق رابطه ۱، انرژی لازم جهت

شکستن قطعه کامپوزیتی و به عبارتی میزان انرژی جذب شده توسط نمونه محاسبه می‌شود.

$$W = m g h \quad (1)$$

به طوری که در این رابطه m جرم پاندول بر حسب کیلوگرم، g شتاب گرانش زمین و h اختلاف ارتفاع پاندول قبل و بعد از ضربه بر حسب متر است.

نمونه‌های مورد نیاز برای آزمایش ضربه پاندولی بر اساس استاندارد ASTM D.256 [۱۴] آماده شدند. نمونه‌های مورد نیاز برای آزمایش ضربه به شکل مستطیل به طول ۶۴ میلی‌متر و عرض ۱۸ میلی‌متر آماده می‌باشند. کامپوزیت‌ها توسط دستگاه س.ی. ان. س.ی. برش داده شدند تا احتمال وجود ترک‌های ناشی از برش در نمونه به حداقل برسد. برای اطمینان از نتایج

به دست آمده از هر نمونه، چهار قطعه مورد آزمایش قرار گرفت. پس از برش نمونه‌ها، شیاری با زاویه ۴۵ درجه و به عمق ۲/۵ میلی‌متر توسط دستگاه ناچزنی Ceast در وسط نمونه‌ها ایجاد شد. این شیار به منظور ایجاد تمرکز تنش و مشخص نمودن مسیر گسترش شکست ایجاد می‌شود. نمونه‌ها پس از ناچزنی به منظور استراحت و آزادسازی تنش‌ها مطابق استاندارد به مدت ۲۴ ساعت در دمای محیط قرار داده شدند. برای آزمایش ضربه از دستگاه ضربه پاندولی Ceast ساخت ایتالیا، موجود در مرکز پلیمر و پتروشیمی ایران، استفاده شده است. در شکل ۲ نمایی از دستگاه مورد استفاده نمایش داده شده است. آزمایش ضربه روی نمونه‌ها در دمای 23 ± 2 درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی 55 ± 5 درصد انجام شده است.

جدول ۲. مشخصات کامپوزیت‌های تولید شده

میزان حفره (درصد)	چگالی تجربی (گرم بر مترمکعب)	کسر حجمی الیاف (درصد)	ضخامت (میلی‌متر)	نحوه دوخت لایه‌ها	زاویه دوخت (نسبت به راستای نخ‌های تار)	کد نمونه
۲/۱۸	۱/۶۰	۳۲/۶۳	۱/۶۳	-	بدون دوخت	US
۲/۳۹	۱/۵۳	۳۳/۹۳	۱/۷۸	۸ لایه به هم دوخته شد	صفر درجه	A0
۲/۳۹	۱/۵۳	۳۳/۹۳	۱/۷۸	۸ لایه به هم دوخته شد	۹۰ درجه	A90
۰/۳۷	۱/۴۹	۳۲/۲۰	۱/۷۲	۸ لایه به هم دوخته شد	صفر و ۹۰ درجه	A090
۱/۶۱	۱/۵۷	۳۶/۷۱	۱/۷۵	۸ لایه به هم دوخته شد	۴۵ درجه	A45
۳/۰۰	۱/۵۶	۴۰/۵۰	۱/۹۰	۸ لایه به هم دوخته شد	± 45 درجه	A ± 45
۶/۸۶	۱/۵۳	۴۷/۳۸	۲/۰۶	۸ لایه به هم دوخته شد	صفر و ۹۰ درجه	A0 ± 4590
۶/۶۶	۱/۵۷	۴۱/۲۱	۱/۹۰	۴ لایه بالا به هم و ۴ لایه پایین به هم دوخته شد	صفر درجه	B0
۵/۴۶	۱/۵۷	۴۹/۴۵	۱/۷۳	۴ لایه وسط به هم دوخته شد	صفر درجه	C0



شکل ۲. نمایی از دستگاه ضربه پاندولی استفاده شده

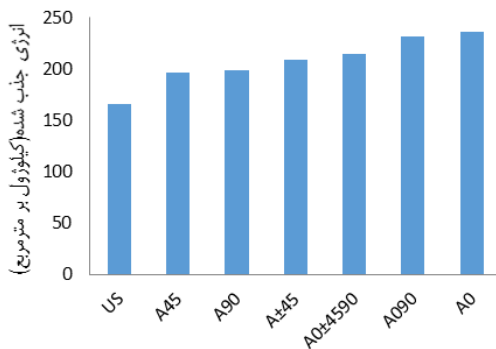
۳. بحث و نتایج

در جدول ۳ میانگین انرژی ضربه‌ای جذب‌شده در واحد سطح هر نمونه آمده است. این مقادیر از تقسیم انرژی ضربه‌ای جذب‌شده بر سطح مقطع نمونه حاصل شده‌اند. برای مقایسه انرژی ضربه‌ای جذب‌شده نمونه‌های مختلف، از آزمون واریانس یک‌طرفه^۷ در نرم افزار اس. پی. اس.^۸ استفاده گردید. در این تحلیل‌ها ضریب اطمینان ۹۵ درصد در نظر گرفته شده است.

جدول ۳. میانگین انرژی جذب شده نمونه‌ها

کد نمونه	انرژی جذب‌شده در واحد سطح (کیلوژول بر مترمربع)	کد نمونه	انرژی جذب‌شده در واحد سطح (کیلوژول بر مترمربع)
US	۱۶۵/۶۴	A45	۱۹۶/۴۶
A0	۲۳۶/۸۶	A±45	۲۰۸/۶۹
B0	۱۷۹/۹۱	A90	۱۹۸/۳۴
C0	۱۹۸/۵۲	A090	۲۳۱/۳۳
A0±4590	۲۱۴/۸۰		

صفر درجه بیشترین مقدار جذب انرژی را داشته است. تفاوت انرژی جذب‌شده در دو نمونه A0 که دارای بیشترین انرژی جذب شده و A45 که دارای کمترین انرژی جذب‌شده بوده‌اند، ۱۷ درصد بوده است.



شکل ۳. اثر زاویه دوخت لایه‌های تقویت کننده

در شکل ۴ راستای اعمال نیرو در آزمون ضربه در کامپوزیت‌های دوخته‌شده تحت زاویه‌های صفر و ۹۰ درجه نمایش داده شده است. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، در کامپوزیت دوخته‌شده تحت زاویه ۹۰ درجه، ردیف‌های دوخت همراستا با محور اعمال ضربه هستند؛ در صورتی که در نمونه‌های دوخته‌شده تحت زاویه صفر درجه ردیف‌های دوخت عمود بر محور اعمال ضربه قرار گرفته‌اند. با توجه به آرایش بخیه‌ها در مقابل ضربه، نمونه صفر درجه مقاومت بیشتری در برابر ضربه خواهد داشت. از سوی دیگر، وقتی نخ دوخت در راستای ضربه قرار می‌گیرد، از تورق جلوگیری و نمونه انرژی بیشتری جذب می‌کند؛ لذا نمونه صفر درجه انرژی بیشتری نسبت به سایر نمونه‌ها جذب کرده است. انرژی جذب‌شده نمونه دوخته‌شده در دو جهت صفر و ۹۰ درجه حدود ۲ درصد از نمونه صفر درجه کمتر است. این اختلاف همان‌طور که در نتایج به دست آمده از آزمون واریانس یک‌طرفه^۷ اس. پی. اس. اس. مشخص شده تفاوت معناداری نمی‌باشد. همچنین انرژی جذب شده در نمونه دوخته‌شده در ۴ جهت با نمونه صفر درجه و صفر و ۹۰ درجه دارای اختلاف معنادار نیست. به‌نظر می‌رسد کاهش مقادیر انرژی در این نمونه به‌علت آسیب‌هایی است که در حین دوخت به الیاف وارد شده، تا حدودی سبب کاهش خواص مطلوب در این نمونه شده است. در نمونه‌های دوخته‌شده تحت زاویه ۴۵ درجه بخیه‌ها به‌صورت اریب نسبت به محور ضربه قرار می‌گیرند. اثر تقویت‌کنندگی این بخیه‌ها در واقع در دو راستای

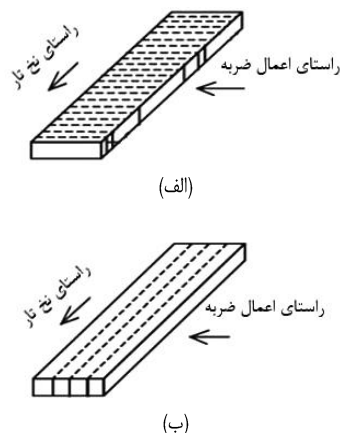
۳-۱. اثر دوخت بر انرژی ضربه‌ای جذب‌شده

در بررسی اثر دوخت بر خواص ضربه‌ای کامپوزیت‌ها، ابتدا بین نمونه‌های دوخته‌شده و نمونه بدون دوخت مقایسه صورت گرفت. با توجه به نتایج آزمایش‌ها، در جدول ۳ مشاهده می‌شود که نمونه بدون دوخت در حدود ۳۰ درصد کمتر از نمونه A0 انرژی جذب کرده است. به‌سبب وجود نخ‌های دوخت در راستای ضخامت کامپوزیت در نمونه‌های دوخته‌شده میزان انرژی جذب شده در این نمونه‌ها بیشتر است. نخ دوخت در واقع به‌عنوان تقویت‌کننده در این راستا عمل و ضعف کامپوزیت در رابطه با عدم وجود تقویت‌کننده در این راستا را برطرف می‌کند. همچنین دوخت به‌عنوان تقویت‌کننده در کامپوزیت از تورق جلوگیری می‌کند، بنابراین انرژی جذب‌شده توسط نمونه افزایش می‌یابد. لذا انرژی جذب‌شده توسط نمونه‌های دوخته‌شده نسبت به نمونه بدون دوخت بیشتر بوده است.

۳-۲. اثر زاویه دوخت لایه‌های تقویت‌کننده

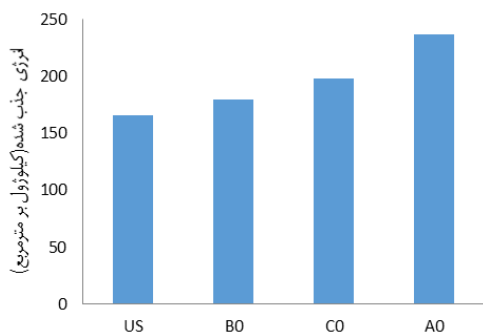
در شکل ۳ اثر زاویه دوخت لایه‌های تقویت‌کننده بر انرژی ضربه جذب‌شده کامپوزیت‌ها نمایش داده شده است. در بین نمونه‌های با زاویه دوخت متفاوت، نمونه دوخته‌شده تحت زاویه

هم‌جهت و عمود نسبت به محور ضربه تقسیم می‌شود و بنابراین بازدهی کمتری نسبت به سایر نمونه‌ها دارند. حال با قرارگیری بخیه‌ها تحت زاویه ۴۵ درجه در دو جهت مثبت و منفی، اثر تقویت‌کنندگی در راستای عمود نسبت به محور ضربه بیشتر شده و لذا انرژی بیشتری جذب می‌شود.



شکل ۴. راستای اعمال نیرو نسبت به کامپوزیت دوخته‌شده تحت زاویه الف (۹۰ درجه، ب) صفر درجه

و پائینی به‌صورت قابل توجهی گسترش می‌یابد؛ لذا این نمونه نیروی کمتری را تحمل می‌کند و نسبت به نمونه A0 حدود ۱۶ درصد کمتر انرژی جذب کرده است. انتظار می‌رود نمونه B0 نسبت به نمونه C0 انرژی بیشتری جذب کند؛ زیرا در این نمونه چهار لایه پارچه دوخته‌شده در قسمت پایینی و چهار لایه پارچه دوخته‌شده در قسمت بالایی قرار دارد. با این حال نتایج آزمایش نشان می‌دهد نمونه B0 کمترین مقدار انرژی جذب‌شده را داشته است. در نمونه B0 طی عملیات دوخت در هر دو قسمت بالا و پایین نمونه به الیاف آسیب رسیده و کاهش برخی خواص تقویت‌کننده را به‌همراه داشته است، به‌همین علت در این نمونه انرژی جذب‌شده نسبت به دو نمونه دیگر کمتر بوده است. همچنین، همان‌طور که در جدول ۲ گزارش شده، مقدار حفره در این نمونه از نمونه‌های C0 و A0 بیشتر بوده و این موضوع می‌تواند از دلایل دیگر کاهش انرژی جذب‌شده در این نمونه باشد؛ زیرا وجود حفره در کامپوزیت سبب کاهش خواص مکانیکی کامپوزیت می‌شود.



شکل ۵. اثر دوخت لایه‌های متفاوت تقویت‌کننده

۴. نتیجه‌گیری

در این پژوهش به بررسی اثر برخی از پارامترهای دوخت بر خواص ضربه پاندولی کامپوزیت‌های تقویت‌شده با پارچه شیشه پرداخته شد. برای بررسی اثر دوخت برخی پارامترها مانند زاویه دوخت و نحوه دوخت لایه‌های مختلف مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج حاصل از آزمایش ضربه روی نمونه‌های مختلف بدین قرار است که دوخت تقویت‌کننده باعث افزایش قابل توجه انرژی جذب‌شده توسط نمونه حین فرایند ضربه می‌شود. دوخت تقویت‌کننده تحت زوایای مختلف بر میزان انرژی جذب‌شده حین فرایند ضربه اثرگذار است. نمونه دوخته‌شده در راستای عمود بر محور ضربه بیشترین میزان انرژی را طی فرایند ضربه

۳-۳. اثر نحوه دوخت لایه‌های تقویت‌کننده بر انرژی ضربه‌ای جذب‌شده

در شکل ۵ اثر نحوه دوخت لایه‌های مختلف تقویت‌کننده بر مقدار انرژی جذب‌شده توسط کامپوزیت نمایش داده شده است. بین نمونه‌های دوخته‌شده با حالت‌های مختلف، نمونه A0 که در آن هشت لایه تقویت‌کننده تحت زاویه صفر درجه دوخته شده، بیشترین مقدار انرژی (۲۳۶/۸۶ کیلوژول بر متر مربع) را جذب کرده است. نمونه C0 و B0 به‌ترتیب دارای میانگین انرژی جذب شده ۱۹۸/۵۲ کیلوژول بر متر مربع و ۱۷۹/۹۱ کیلوژول بر متر مربع می‌باشند. تفاوت انرژی جذب‌شده در این نمونه‌ها از نظر آماری معنادار است. در نمونه A0 با قرارگیری هشت لایه پارچه دوخته‌شده در کامپوزیت، تقویت‌کننده در سراسر راستای ضخامت کامپوزیت وجود دارد. وجود این نخ‌ها از گسترش تورق و تخریب جلوگیری کرده و به‌همین دلیل توانایی تحمل نیروی ضربه در این کامپوزیت بیشتر است. در نمونه C0، چهار لایه از تقویت‌کننده دوخته شده است و بنابراین در زیر و روی ورقه کامپوزیت، که محل ایجاد شکست و گسترش آن است، تقویت‌کننده در راستای ضخامت وجود ندارد. با توجه به نبود تقویت‌کننده در این بخش‌ها، در این نمونه شکست در لایه‌های بالایی

شده‌اند بیشترین میزان انرژی جذب شده را داشته است.

جذب کرده است. نهایتاً اینکه در بررسی اثر دوخت لایه‌های مختلف مشاهده می‌شود نمونه‌ای که همه لایه‌ها به هم دوخته

۵. مآخذ

- [1] Gutowski, T. G., *Advanced Composite Manufacturing*, Wiley, 1997.
- [2] Cartie, D. D. R., P. E. Irving. "Effect of resin and fiber properties on impact and compression after impact performance of CFRP." *Composites: Part A* 33, 2002, pp. 483-493.
- [3] Nie, J., Y. Xu, L. Zhang, X. Yin, L. Cheng, J. Ma. "Effect of stitch spacing on mechanical properties of carbon/silicon carbide composites." *Composites Science and Technology*, 68, 2008, pp. 2425-2432.
- [۴] تونگ. لی یونگ، آدریان پی. موریتس، مایکل کی. بنیستر، کامپوزیت‌های سه‌بعدی پلیمری تقویت‌شده با الیاف، ترجمه هژیر بهرامی، آزاده بشری، سمیه صفی، تهران: دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۹۰.
- [5] Nuoping, Z., H. Rodel, C. Herzberg, S. Krzywinski. "Impact properties of stitched fibre/reinforced thermoplastic composite." *ICCM 17*, Edinburg UK F 7.
- [5] Zhao, N., H. Rodel, C. Herzberg, S. Gao, S. Krzywinski. "Stitched glass/PP composite. Part 1: Tensile and Impact properties." *Composites: Part A*, 40, 2009, pp. 635-643.
- [6] Kang, T. J., S. H. Lee. "Effect of stitching on the mechanical and impact properties of woven laminate composite." *J Compos Mater*, 28, 1994, pp. 1574-1587.
- [7] Caneva, C., S. Olivieri, C. Santulli, G. Bonifazi. "Impact damage evaluation on advanced stitched composites by means of acoustic emission and image analysis." *Comp. Struct.*, 25, 1993, pp. 121-128.
- [8] Nie, J., Y. Xu, L. Zhang, X. Yin, L. Cheng, J. Ma. "Effect of stitch spacing on mechanical properties of carbon/silicon carbide composites." *Composites Science and Technology*, 68, 2008, pp. 2425-2432.
- [9] Dow, M. B., D. L. Smith. "Damage tolerant composite materials produced by stitching carbon fibers", Proceedings of 21st International SAMPE Technical Conference, 1989, pp. 595-605.
- [10] Liu, D. "Delamination resistance in stitched and unstitched composite plates subjected to impact loading." *J ReinfPlast Compos*, 9, 1990, pp. 59-69.
- [11] Sharma, S. K., B. V. Sankar. "Sublaminar buckling and compression strength of stitched uniweave graphite/epoxy laminates", Proceedings of the 10th Technical Conference of the American Society for Composites, 1995, pp. 143-151.
- [12] Sharma, S. K., B. V. Sankar. "Effect of stitching on impact and interlaminar properties of graphite/epoxy laminates." *J Thermoplast Compos Mater*, 10, 1997, pp. 241-253.
- [13] Standard Test Method for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics, an American National Standard. D 256-00.

پی‌نوشت

-
1. Kang
 2. Caneva
 3. Nie
 4. Smith
 5. Liu
 6. Sharma
 7. ANOVA
 8. SPSS[®]