



بررسی تجربی اثر استفاده از پارچه بافت سه بعدی در میزان جذب انرژی در کامپوزیت - های گلیر

رضا عمویی دیزجی¹، مجتبی یزدانی^{2*}

1- کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز
2- استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز
* صندوق پستی 51335/1996، m.yazdani@sut.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل
دریافت: 25 دی 1394
پذیرش: 01 اسفند 1394
ارائه در سایت: 07 فروردین 1395
کلیدواژگان:

پارچه بافت سه بعدی
پارچه بافت ساده
روش انتقال رزین به قالب توسط خلأ
ضربه سرعت پایین

این پژوهش، به تاثیر استفاده از پارچه الیاف شیشه بافت سه بعدی در میزان جذب انرژی در کامپوزیت‌های چندلایه فلز- ماده مرکب شیشه اپوکسی ساخته شده به روش انتقال رزین به قالب توسط خلأ به صورت تجربی می‌پردازد. کامپوزیت چندلایه فلز- ماده مرکب شیشه اپوکسی، از 2 و 3 رويه آلومینیومی با الیاز 2024 و هسته کامپوزیتی شیشه اپوکسی تشکیل شده است. هسته کامپوزیتی برای نمونه‌های الیاف شیشه بافت ساده شامل الیاف شیشه بافت ساده با وزن واحد سطح 200 گرم بر مترمربع، نمونه‌های الیاف شیشه بافت سه بعدی شامل پارچه الیاف شیشه بافت سه بعدی به ضخامت 5 میلی‌متر، رزین R510 و سخت کننده H515 است. نمونه‌های آزمایش با روش انتقال رزین به قالب توسط خلأ و با کسر حجمی 71 درصد در قسمت کامپوزیت الیاف شیشه بافت ساده ساخته شد. آزمایش ضربه سرعت پایین با استفاده از دستگاه ضربه افتان در انرژی‌های ضربه 80 و 50 ژول انجام گرفت. نتایج حاصل از آزمایش ضربه سرعت پایین نشان دهنده این است که میزان مقاومت در برابر ضربه نمونه‌های بافت ساده در مقایسه با نمونه‌های بافت سه بعدی در انرژی‌های مختلف، بیشتر و بهتر است. در کاربردهایی که وزن جزء عامل- های تاثیرگذار مطرح است، وزن نمونه‌های ساخته شده بر پایه الیاف شیشه بافت سه بعدی نسبت به الیاف شیشه بافت ساده کم‌تر است.

An experimental investigation of the effect of 3D fabric in the amount of energy absorbed in the GLARE composite

Reza Amooyi Dizaji, Mojtaba Yazdani*

Department of Mechanical Engineering, Sahand University of Technology, Tabriz, Iran
* P.O.B. 51335/1996, Tabriz, Iran, m.yazdani@sut.ac.ir

ARTICLE INFORMATION

Original Research Paper
Received 15 January 2016
Accepted 20 February 2016
Available Online 26 March 2016

Keywords:
3D fiberglass fabric
Plain weave glass fiber
VARTM
Low velocity impact

ABSTRACT

This research investigated experimentally the effect of using of 3D fiberglass fabric in the energy absorption in glass fiber metal laminate composite made by vacuum assisted resin transfer molding (VARTM) method. The prepared GLARE is made of two or three Aluminum 2024 facing sheets and E glass/epoxy as a core of nano composite. Composite core section for samples of glass fiber plain weave has been composed of plain weave glass fiber 200 g/m^2 , 3D fiberglass fabric samples consisting of 3D fiberglass fabric to thickness of 5 mm, resin R510 and hardener H515. All panels were fabricated using VARTM method in section glass fiber plain weave in fiber volume fraction of 71%. Low velocity impact tests were conducted using by drop weight device at the impact energy of 50 and 80 j. The results of the low velocity impact experiments show that the amount of resistance of impact plain weave samples in comparison to the 3D fabric in various energy levels is more and better. In applications where weight is an effective agent component, the weight of glass fiber plain weave base samples is less than 3D fiberglass fabric samples.

1- مقدمه

هوایی کاربرد زیادی یافته‌اند. این مواد خواص آلیاژهای فلزی و مواد مرکب را با هم دارا می‌باشند.

مواد فلزی دارای قدرت تحمل بالا، مقاومت به ضربه خوب و تعمیر آسان هستند، درحالی‌که الیاف تقویت کننده ماتریس³ دارای خواص خستگی عالی و استحکام بالا هستند. مواد فلزی دارای مشکلات خستگی و خوردگی هستند، همچنین الیاف تقویت کننده ماتریس شامل معایبی همچون، قدرت تحمل کم، مقاومت در برابر ضربه پایین و تعمیر پذیری ضعیف هستند که با ترکیب

در دهه‌های گذشته تلاش‌های زیادی توسط محققین برای ساخت ماده‌ای که بتواند خواص خستگی و مکانیکی خوبی در مقایسه با آلومینیوم داشته و به‌طور همزمان وزن پایینی را دارا باشد، انجام شده است. این تلاش‌ها منجر به ساخت کامپوزیت‌های¹ چندلایه فیبر- فلز² گردید که ترکیبی از ورق‌های فلزی نازک و لایه‌های کامپوزیتی تقویت شده با الیاف هستند که در صنایع

3- Matrix

1- Composite
2- FML(Fiber Metal Laminate)

فلز و لایه کامپوزیتی، این معایب قابل رفع شدن است [2,1]. کاپرینو و همکاران [3] پاسخ ضربه سرعت کم را به‌طور جامع مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان می‌دهد که کامپوزیت‌های چندلایه فیبر و فلز انرژی سوراخ شدگی بالاتری نسبت به کامپوزیت‌های ساده دارند. به نظر می‌رسد، پاسخ به نفوذ کامل الیاف شیشه-آلومینیوم نسبت به الیاف کربن و کامپوزیت تقویت شده با شیشه بهتر باشد. جی فان و همکاران [4] پاسخ ضربه سرعت کم را در کامپوزیت‌های چندلایه فیبر-فلز و کامپوزیت‌های ساده مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاکی از آن است که کامپوزیت‌های چندلایه فیبر-فلز نسبت به کامپوزیت‌های ساده مقاومت در برابر سوراخ شدگی بالاتری دارند. هایاتو ناکاتانی و همکاران [5] کامپوزیت چندلایه فیبر و فلز شیشه اپوکسی-تیتانیوم را تحت ضربه سرعت پایین قرار داده و مشاهده کردند که لایه تیتانیوم طرف ضربه نخورده بعد از بارگذاری ضربه سالم مانده و لایه‌های شدگی میان لایه‌های کوچکی در لایه‌های کامپوزیتی رخ داده است. همچنین دریافتند آسیب‌های درونی و تغییر شکل بیرونی از صفحه باقی‌مانده در لایه کامپوزیت تقویت شده با شیشه، توسط انرژی جذب شده به‌وسیله تغییر شکل پلاستیکی و شروع ترک در لایه تیتانیومی، طرف ضربه نخورده سرکوب شده است جی فان و همکاران [6] شکست سوراخ در سه نوع لایه چینی مختلف کامپوزیت‌های چندلایه فیبر و فلز را تحت ضربه سرعت پایین مورد بررسی قرار داده و مشاهده کردند که افزایش ضخامت با افزایش لایه چینی، منجر به افزایش انرژی سوراخ شدگی می‌شود. همچنین افزایش ضخامت لایه‌های کامپوزیت موجب افزایش مقاومت در برابر ضربه شده است. افزایش اندازه پرتابه و اندازه صفحه منجر به افزایش انرژی سوراخ شدگی و تغییر محل برخورد پرتابه تأثیر اندکی در پاسخ ضربه در این نوع کامپوزیت‌ها را شامل می‌شود. راج کومار و همکاران [7] به بررسی رفتار کامپوزیت‌های چندلایه فیبر-فلز آلومینیوم-شیشه و آلومینیوم-کربن تحت ضربه سرعت پایین پرداختند. مقاومت در برابر سوراخ شدگی بیشتر صفحه آلومینیوم یکپارچه نسبت به کامپوزیت چندلایه فیبر-فلز مبتنی بر آلومینیوم، به‌احتمال زیاد به علت جذب انرژی برتر آلیاژ آلومینیوم بوده است. همچنین کامپوزیت چندلایه آلومینیوم-شیشه نسبت به آلومینیوم-کربن جذب انرژی بهتری، به دلیل اجازه گسترش ترکی که کربن در ساختار خود می‌دهد را دارا است. همچنین کامپوزیت چندلایه آلومینیوم-شیشه، مقاومت در برابر آسیب ضربه عالی از خود نشان داده و ناحیه کوچکی از آسیب بعد از نفوذ در آن اتفاق می‌افتد.

صدیقی و همکاران [8] مقاومت به ضربه کامپوزیت چندلایه فیبر و فلز را با انواع فلز و ضخامت‌های مختلف تحت ضربه سرعت پایین مورد بررسی قرار دادند، مشاهده کردند که افزایش ضخامت آلومینیوم موجب بهبود عملکرد کامپوزیت فیبر و فلز تحت ضربه شده است، اما افزایش ضخامت موجب افزایش وزن می‌شود بنابراین در جاهایی که عامل وزن تأثیرگذار نیست می‌تواند در نظر گرفته شود. سلال اوچی و گولگیش [9] پاسخ ضربه مواد کامپوزیتی را به‌طور آزمایشگاهی مورد بررسی قرار دادند. پاسخ دینامیکی و مقاومت در برابر آسیب کامپوزیت با الیاف بافته شده، برتر از کامپوزیت با الیاف تک جهت است. در بارگذاری‌های دینامیکی کامپوزیت با الیاف بافته شده باید به‌عنوان ماده انتخاب شوند. استحکام مواد و قابلیت تحمل نیرو کامپوزیت با الیاف شیشه تک جهت در مقایسه با کامپوزیت، با الیاف شیشه بافته شده و الیاف آرامید تحت بارگذاری خمشی شبه استاتیکی بسیار مناسب است؛ بنابراین باید کامپوزیت با الیاف شیشه تک جهت در بارگذاری‌های

2- ساخت نمونه‌ها

2-1- مواد

کامپوزیت چندلایه فیبر و فلز از رویه‌های آلومینیومی و هسته‌های کامپوزیتی تشکیل شده است. رویه‌های آلومینیومی از جنس 2024-T3 و ضخامت 0.6 میلی‌متر انتخاب شد.

الیاف استفاده شده برای ساخت نمونه‌ها از جنس شیشه و نوع ای¹ است. این الیاف به دو صورت بافت ساده و بافت سه‌بعدی² استفاده شده است. الیاف شیشه بافت ساده با مشخصات کاملاً یکسان در راستاهای طولی و عرضی می‌باشند، وزن واحد سطح الیاف برابر 200 گرم بر مترمربع است. الیاف شیشه بافت سه‌بعدی که در شکل 1 مشاهده می‌شود، به‌صورت دو صفحه بافته شده است که توسط الیاف به هم متصل شده است. ضخامت این الیاف 5 میلی‌متر بوده و ساخت شرکت پارابیم³ است.

رزین مورد استفاده از خانواده اپوکسی و ساخت شرکت ماناپار با نام تجاری R510 و با سخت‌کننده H515 انتخاب شد. نسبت وزنی رزین به سخت‌کننده استفاده شده در این تحقیق براساس اطلاعات شرکت سازنده 100 به 15 است که جزء رزین‌های سخت است.

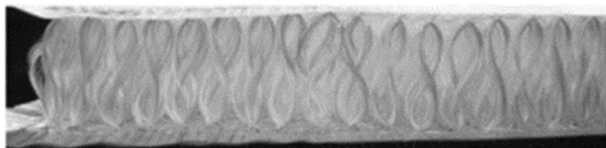


Fig.1 3D fiberglass fabric

شکل 1 الیاف شیشه بافت سه‌بعدی

1- E-Glass
2- 3D Fabric
3- Parabeam

2-2- ساخت فلز - ماده مرکب شیشه اپوکسی

در این پژوهش برای ساخت نمونه‌ها از روش انتقال رزین به قالب توسط خلأ¹ استفاده شده است. روش انتقال رزین به قالب توسط خلأ، فرایندی کم‌هزینه است که می‌تواند برای تولید قطعه‌های کامپوزیتی باکیفیت بالا مورد استفاده قرار بگیرد. فرایند انتقال رزین به قالب توسط خلأ در بسیاری از کاربردها به دلیل ویژگی‌های صرفه‌جویی در زمان، مقدار رزین مصرفی پایین، کیفیت ساخت بالا و مقرون‌به‌صرفه بودن مورد استفاده قرار می‌گیرد. این فرایند در حال حاضر در بسیاری از کاربردهای بخش دفاعی استفاده می‌شود. برای ساخت نمونه‌ها با استفاده از روش انتقال رزین به قالب توسط خلأ از پمپ خلأ، قالب، لوله و روکش پلاستیکی استفاده شده است که در شکل 2 مشاهده می‌شود.

در این تحقیق نمونه‌ها شامل دو نوع لایه چینی 2-1 و 3-2 است که هرکدام از لایه چینی‌ها از دو نوع الیاف شیشه بافت ساده و بافت سه‌بعدی ساخته شده است. در لایه چینی 2-1 بر پایه الیاف شیشه بافت ساده، هسته کامپوزیتی شامل 16 لایه الیاف شیشه بافت ساده است. در لایه چینی 2-1 بر پایه الیاف شیشه بافت سه‌بعدی، هسته کامپوزیتی شامل 3 لایه الیاف شیشه بافت سه‌بعدی است. نمونه با لایه چینی 3-2 شامل دو لایه کامپوزیتی و سه لایه آلومینیومی است. برای نمونه بر پایه الیاف شیشه بافت ساده، هر لایه کامپوزیتی شامل 9 لایه الیاف شیشه بافت ساده بوده و برای نمونه بر پایه الیاف شیشه بافت سه‌بعدی هر لایه کامپوزیتی شامل 2 لایه الیاف شیشه بافت سه‌بعدی است. ضخامت میانگین به‌دست آمده از روش انتقال رزین به قالب توسط خلأ برای هر لایه الیاف شیشه بافت ساده 0.2 میلی‌متر و برای هر لایه الیاف شیشه بافت سه‌بعدی 1 میلی‌متر است. مشخصات نمونه‌های ساخته شده در جدول 1 آورده شده است.

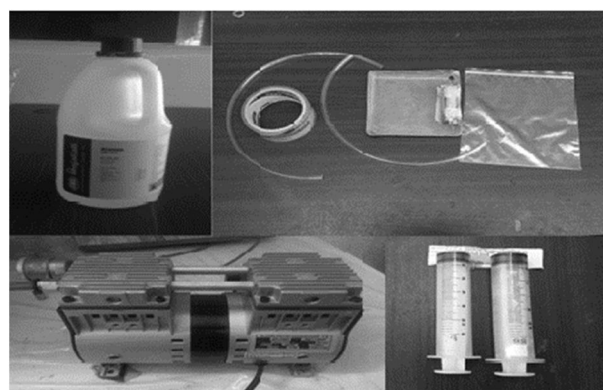


Fig.2 Tools used in manufacture of samples with VARTM method

شکل 2 وسایل مورد استفاده در ساخت نمونه به روش انتقال رزین به داخل قالب توسط خلأ

جدول 1 مشخصات نمونه‌ها

نمونه	الیاف شیشه بافته شده	لایه چینی	ضخامت (mm)
1	بافت ساده	3-2	5.5
2	بافت سه‌بعدی	3-2	5.5
3	بافت ساده	2-1	4.4
4	بافت سه‌بعدی	2-1	4.4

3- آزمایش

3-1- آزمایش ضربه سرعت پایین

آزمایش‌های ضربه سرعت پایین در دانشگاه صنعتی سهند با استفاده از یک دستگاه ضربه افتان که قابلیت اندازه‌گیری شتاب را داشت انجام شد (شکل 3).

سه سری آزمایش انجام شد که سری اول مربوط به بررسی تکرارپذیری آزمایش برای سه نمونه با لایه چینی 2-3 با الیاف شیشه بافت ساده، سری دوم بررسی دو نمونه با لایه چینی 2-3 با دو نوع بافت متفاوت تحت ضربه با انرژی 80 ژول و سری سوم بررسی دو نمونه با لایه چینی 1-2 با دو نوع بافت متفاوت تحت ضربه با انرژی 50 ژول صورت پذیرفت. دستگاه شامل دو پیچ و میله راهنما بوده که مجموعه پرتابه را توسط یک الکتروموتور جابجا می‌کند. ارتفاع پرتابه با توجه به انرژی ضربه موردنظر تنظیم می‌گردد.

سرعت آزمایش برای نمونه با لایه چینی 2-1، 4.11 متر بر ثانیه و برای نمونه با لایه چینی 3-2، 5.2 متر بر ثانیه در نظر گرفته شد. ابعاد نمونه گلیر² ساخته شده 10 در 10 سانتی‌متر است. پرتابه از جنس فولاد به قطر 8 میلی‌متر به طول قسمت استوانه‌ای 30 میلی‌متر و جرم 14 گرم انتخاب شد. جرم مجموعه پرتابه 5.9 کیلوگرم است. با توجه به شکل 4 نگه‌دارنده نمونه به‌صورت دایره‌ای از جنس فولاد در نظر گرفته شد که توسط 12 پیچ بسته می‌شود. قطر ناحیه آزمایش 80 میلی‌متر در نظر گرفته شد.

3-2- استخراج نمودار

پس از انجام آزمایش، داده‌ها از شتاب‌سنج به نرم‌افزار دستگاه ضربه افتان انتقال می‌یابد. شتاب‌هایی که شتاب‌سنج از لحظه شروع ضربه (لحظه شروع سقوط آزاد) تا متوقف شدن پرتابه را ثبت می‌کند. چون شتاب در بازه زمانی زیادی ثبت شده و همچنین اثر لرزش و ارتعاش هم ثبت شده است از این‌رو لازم است بخش‌هایی که جزو فرایند ضربه نیستند از منحنی پالایش شود. با توجه به اطلاعات سنسور استفاده شده در دستگاه آزمایش، این سنسور فقط می‌تواند فرکانس‌هایی تا 10 کیلوهرتز را شناسایی کند و بعد از آن مقدار



Fig.3 Low velocity impact device

شکل 3 دستگاه ضربه سرعت پایین

2- Glare

1- Vacuum Assisted Resin Transfer Molding

قسمت جلویی نمونه و شکل‌گیری پتال آلومینیوم در قسمت پشتی نمونه است. چگونگی تغییر شکل، نقش اساسی در جذب انرژی ضربه را دارا است.

شکل 5 تکرارپذیری آزمایش ضربه سرعت‌پایین تحت انرژی 80 ژول برای نمونه‌ها با لایه چینی 2-3 بر پایه الیاف شیشه بافت ساده را نشان می‌دهد. اختلاف نیروی که در نمونه سوم با سایر نمونه‌ها مشاهده می‌شود، به علت وزن کم این نمونه نسبت به دو نمونه دیگر است، که این اختلاف وزن نیز در ساخت نمونه‌های آزمایشگاهی به دلیل وجود خطا قابل پیش‌بینی است.

شکل 6 مقایسه منحنی نیرو-زمان برای دو نمونه با لایه چینی 2-3 و با الیاف شیشه بافت ساده و سه‌بعدی تحت انرژی ضربه 80 ژول را نشان می‌دهد. با توجه به شکل 6، اگرچه زمان نفوذ در هر دو نمونه یکسان است ولی نمونه با الیاف شیشه بافت ساده مقدار مقاومت در برابر ضربه بیشتری نسبت به نمونه با الیاف شیشه بافت سه‌بعدی از خود نشان می‌دهد. یکی از حالت‌های آسیب رایج در ساختار کامپوزیت‌های چند لایه فیبر-فلز تحت ضربه سرعت پایین لایه‌لایه شدگی است که در بین لایه‌های کامپوزیتی یا بین لایه کامپوزیتی با لایه فلزی گسترش می‌یابد.

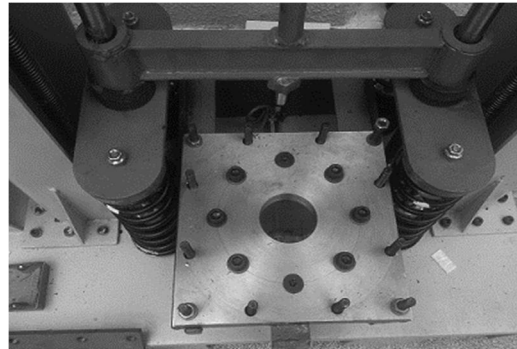


Fig.4 Sample fixture

شکل 4 نگه‌دارنده نمونه

جواب‌ها صحیح نمی‌باشد به همین علت فرکانس‌های بالای 10 کیلوهرتز حذف شده است. به این صورت که با استفاده از معادله (1) زمان تقریبی برخورد محاسبه شده و با توجه به این که پرتابه توسط پیستون نگه‌داشته شده و در لحظه فرمان شروع، پیستون کنار رفته و پرتابه از طریق میله‌های راهنما سقوط می‌کند، از این‌رو زمان تأخیر به‌طور میانگین 0.2 ثانیه، نیز باید به زمان محاسبه شده اضافه می‌گردد.

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}} \quad (1)$$

بعد از استخراج تقریبی زمان برخورد پرتابه، بازه زمان استخراج شده در برنامه دستگاه ضربه افتان قرار گرفته و موقعیت موج ضربه مشخص می‌شود.

نمودار شتاب زمان ثبت شده به‌صورت نوسانی بوده و پراکندگی زیادی دارد. برای استخراج نمودارهای انرژی لازم است نمودار شتاب به‌صورت پیوسته باشد که با استفاده از نرم‌افزار خود دستگاه منحنی پالایش و پیوسته می‌شود.

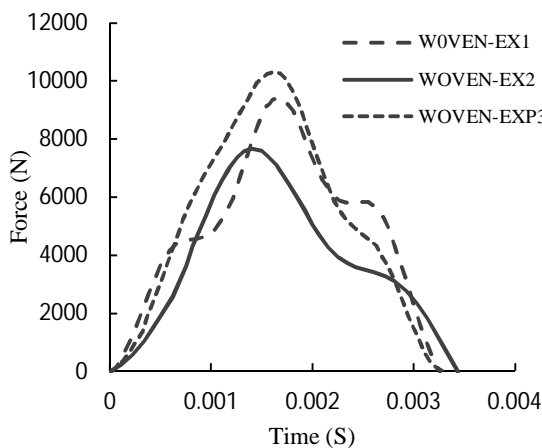


Fig.5 Comparison samples with 3-2 lay-up under 80j impact energy

شکل 5 مقایسه سه نمونه با لایه چینی 2-3 تحت انرژی ضربه 80 ژول

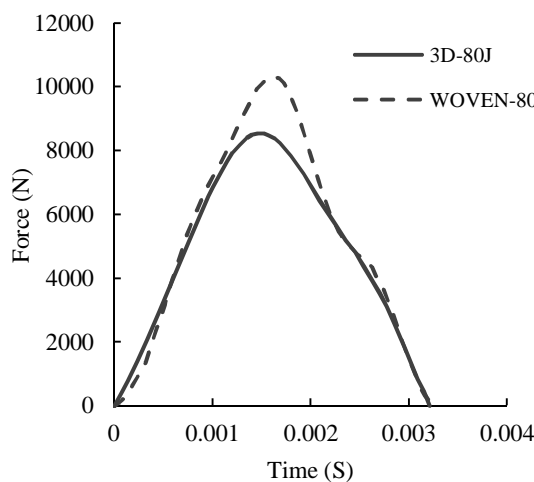


Fig.6 Comparison of two samples with 3-2 lay-up under 80 impact

شکل 6 مقایسه دو نمونه با لایه چینی 2-3 تحت ضربه 80 ژول

4- آنالیز المان محدود

آنالیز عددی با استفاده از نرم‌افزار المان محدود دینامیکی غیرخطی ال اس داین انجام شده است. به دلیل متقارن بودن نمونه‌ها، یک چهارم نمونه و پرتابه شبیه‌سازی شده است. نمونه و پرتابه با المان جامد 8 گره مدل شده است. پرتابه به‌صورت صلب در نظر گرفته شده و برای لایه‌ها شیشه-اپوکسی از ماده کامپوزیت-دمیج¹ استفاده شده است که برای کامپوزیت‌هایی با معیار شکست چانگ چانگ² استفاده می‌شود. برای لایه آلومینیوم T3-2024 از ماده پلاستیک-کینماتیک³ استفاده شده است. این ماده برای نشان دادن رفتار الاستیک - پلاستیک آلومینیوم انتخاب شده است.

از الگوریتم تماسی شکست سطح به سطح⁴ بین پرتابه و نمونه استفاده شده است و از الگوریتم تماسی خودکار سطح به سطح⁵ بین لایه‌های کامپوزیتی استفاده شده است.

5- نتایج و بحث

مکانیسم‌های جذب انرژی که می‌توان برای فلز- ماده مرکب شیشه اپوکسی تعریف کرد شامل شکستگی الیاف، جدایش میان قسمت کامپوزیتی و فلزی، لایه لایه شدگی، شکست در هریک از لایه‌های کامپوزیتی، ایجاد پلاگ در

1- Composit_Damage
2- Chang-Chang
3- Plastic_Kinematic
4- CONTACT_ERODING_SURFACE_TO_SURFACE
5- CONTACT_AUTOMATIC_SURFACE_TO_SURFACE

و فلز ساخته شده بر پایه الیاف شیشه بافت ساده تحت انرژی پرتابه 40 ژول که معادل با سرعت پرتابه به اندازه 3.68 متر بر ثانیه است نشان داده شده

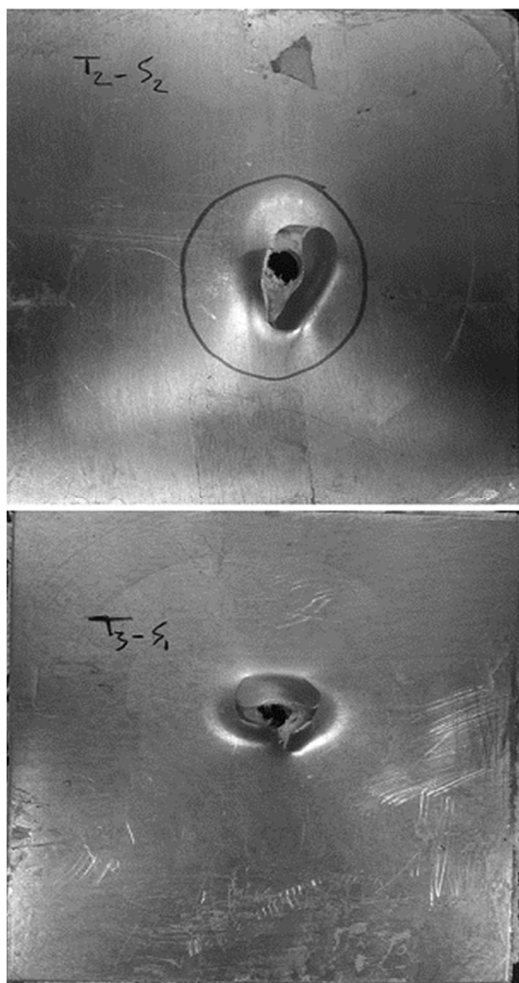


Fig.7 Aluminum back face damage a): woven glass fiber b): 3D woven glass fiber

شکل 7 آسیب صفحه آلومینیوم پشتی (الف): الیاف شیشه بافت ساده (ب): الیاف شیشه بافت سه بعدی

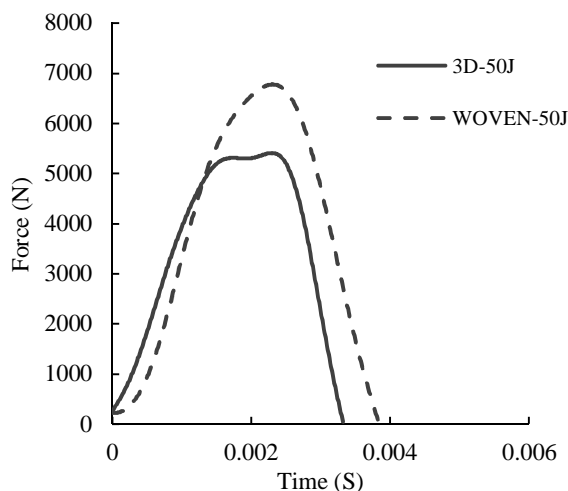


Fig.8 Comparison of two samples with 2-1 lay-up under 50j impact

شکل 8 مقایسه دو نمونه با لایه چینی 2-1 تحت ضربه 50 ژول

این لایه لایه شدگی در نمونه با الیاف شیشه بافت ساده مشاهده می شود، در حالی که لایه لایه شدگی در نمونه با بافت سه بعدی کم تر است که نشان می دهد انرژی جذب شده در نمونه بافت ساده بیشتر از نمونه بافت سه بعدی است. گسترش لایه لایه شدگی در لایه های کامپوزیتی بافت ساده به عوامل متعددی چون، کرنش الیاف، چقرمگی رزین و ضخامت کلی نمونه بستگی دارد.

همچنین براساس شکل 6 مساحت زیر منحنی نیرو- زمان که برابر با مقدار نیروی ضربه است، برای نمونه با الیاف شیشه بافت ساده بیشتر از نمونه با الیاف شیشه بافت سه بعدی است. مکانیزم جذب انرژی در نمونه بافت ساده با نمونه بافت سه بعدی متفاوت است.

در نمونه بافت ساده انتقال بار ضربه در هر دو جهت الیاف است که ناحیه بزرگ تری برای مقاومت در برابر انرژی ضربه ایجاد می کند. به عبارت دیگر، بار انتقالی در راستای الیاف اجازه ایجاد ناحیه آسیب بزرگتری را می دهد (ناحیه لایه لایه شدگی بزرگتر). در مقابل، در نمونه بافت سه بعدی، الیاف جهت دار جانبی در ناحیه هسته وجود ندارد، بلکه همه الیاف در راستای ضخامت هستند. انرژی ضربه به طور عمده با فشردن الیاف عمودی جذب می شود که موجب مقاومت در برابر ضربه کم و ناحیه آسیب کوچک تر می شود. به نظر می رسد یکی از دلایل بالا بودن مقاومت به ضربه نمونه بافت ساده نسبت به نمونه بافت سه بعدی تراکم بالای الیاف شیشه بافت ساده نسبت به الیاف شیشه بافت سه بعدی است. چون در یک نمونه با لایه چینی 2-1، 16 لایه الیاف شیشه بافت ساده استفاده شده در حالی که در نمونه با بافت سه بعدی، 3 لایه از این بافت استفاده شده است. ساختار الیاف شیشه بافت سه بعدی نیز با توجه به این که دو سطح بافته شده توسط الیاف به هم متصل می شوند تراکم کمتری خواهند داشت که می تواند یکی از دلایل تاثیر گذار باشد.

همچنین در شکل 7 مشاهده می شود که نمونه با الیاف شیشه بافت سه بعدی و نمونه با الیاف شیشه بافت ساده هر دو به طور کامل سوراخ شده است.

شکل 8 مقایسه دو نمونه با الیاف شیشه بافت ساده و الیاف شیشه بافت سه بعدی تحت انرژی ضربه 50 ژول را نشان می دهد.

با توجه به شکل 8، نمونه با الیاف شیشه بافت ساده مقاومت در برابر ضربه بیشتری نسبت به نمونه ساخته شده با الیاف شیشه بافت سه بعدی دارد. همچنین براساس شکل 8 مساحت زیر منحنی نیرو- زمان که برابر با مقدار نیروی ضربه است، برای نمونه با الیاف شیشه بافت ساده بیشتر از نمونه با الیاف شیشه بافت سه بعدی است.

در شکل 9 ناحیه آسیب سطح پشتی نمونه ها تحت ضربه با انرژی 50 ژول مشاهده می شود. مطابق شکل 9، ناحیه آسیب در نمونه ساخته شده با الیاف شیشه بافت سه بعدی دچار سوراخ شده ولی نه به طور کامل، چون مقطع آلومینیوم جدا شده از سطح جلویی، از نمونه خارج نشده است. ولی در نمونه ساخته شده با الیاف شیشه بافت ساده نمونه سوراخ نشده و فقط آلومینیوم صفحه پشتی جابجا شده است.

با توجه به مقدار عمق نفوذ پرتابه در نمونه ها که مقدار این نفوذ در نمونه با الیاف شیشه بافت ساده نسبت به نمونه با الیاف شیشه بافت سه بعدی کم تر است، در نتیجه مقاومت در برابر ضربه بیشتری نسبت به بافت سه بعدی از خود نشان داده است.

1-5- مقایسه نتایج تجربی و عددی

در شکل 10 نمودار شتاب بر حسب زمان برای نمونه کامپوزیت چندلایه فیبر

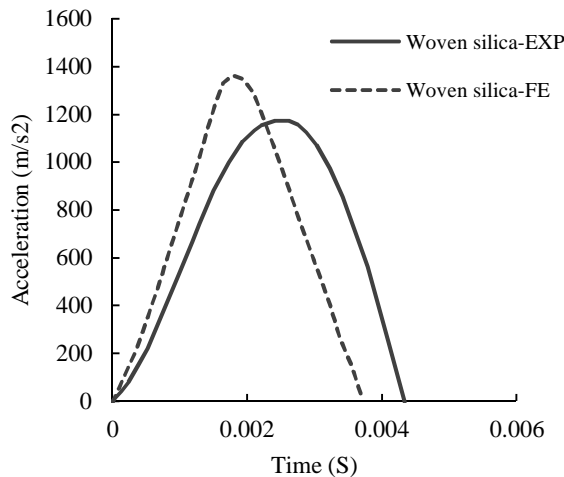


Fig.10 Comparison experimental and numerical results of sample with 2-1 lay-up under 40j impact

شکل 10 مقایسه نتایج تجربی و عددی نمونه با لایه چینی 2-1 تحت ضربه 40 ژول همچنین استفاده از الیاف شیشه بافت سه بعدی موجب کاهش وزن نمونه می‌شود که در کاربردهایی که وزن به عنوان یک عامل مهم تاثیرگذار است باید مورد توجه قرار بگیرد.

7-مراجع

- [1] S. Khalili, R. Mittal, S. G. Kalibar, A study of the mechanical properties of steel/aluminium/GRP laminates, *Materials Science and Engineering: A*, Vol. 412, No. 1, pp. 137-140, 2005.
- [2] M. Sadighi, R. Alderliesten, R. Benedictus, Impact resistance of fiber-metal laminates: a review, *International Journal of Impact Engineering*, Vol. 49, pp. 77-90, 2012.
- [3] G. Caprino, G. Spataro, S. Del Luongo, Low-velocity impact behaviour of fibreglass-aluminium laminates, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, Vol. 35, No. 5, pp. 605-616, 2004.
- [4] J. Fan, W. Cantwell, Z. Guan, The low-velocity impact response of fiber-metal laminates, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, Vol. 30, No. 1, pp. 26-35, 2011.
- [5] H. Nakatani, T. Kosaka, K. Osaka, Y. Sawada, Damage characterization of titanium/GFRP hybrid laminates subjected to low-velocity impact, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, Vol. 42, No. 7, pp. 772-781, 2011.
- [6] J. Fan, Z. Guan, W. Cantwell, Numerical modelling of perforation failure in fibre metal laminates subjected to low velocity impact loading, *Composite structures*, Vol. 93, No. 9, pp. 2430-2436, 2011.
- [7] G. Rajkumar, M. Krishna, H. N. Murthy, S. Sharma, K. V. Mahesh, Investigation of repeated low velocity impact behaviour of GFRP/Aluminium and CFRP/Aluminium laminates, *International Journal of Soft Computing and Engineering*, Vol. 1, No. 6, pp. 50-58, 2012.
- [8] M. Sadighi, T. Pärnänen, R. Alderliesten, M. Sayeefabi, R. Benedictus, Experimental and numerical investigation of metal type and thickness effects on the impact resistance of fiber metal laminates, *Applied Composite Materials*, Vol. 19, No. 3-4, pp. 545-559, 2012.
- [9] C. Evcı, M. Gülgeç, An experimental investigation on the impact response of composite materials, *International Journal of Impact Engineering*, Vol. 43, pp. 40-51, 2012.
- [10] F. Morinière, R. Alderliesten, M. Sadighi, R. Benedictus, An integrated study on the low-velocity impact response of the GLARE fibre-metal laminate, *Composite Structures*, Vol. 100, pp. 89-103, 2013.
- [11] G. B. Chai, P. Manikandan, Low velocity impact response of fibre-metal laminates—A review, *Composite Structures*, Vol. 107, pp. 363-381, 2014.
- [12] Z. Asaee, S. Shadlou, F. Taheri, Low-velocity impact response of fiberglass/magnesium FMLs with a new 3D fiberglass fabric, *Composite Structures*, Vol. 122, pp. 155-165, 2015.

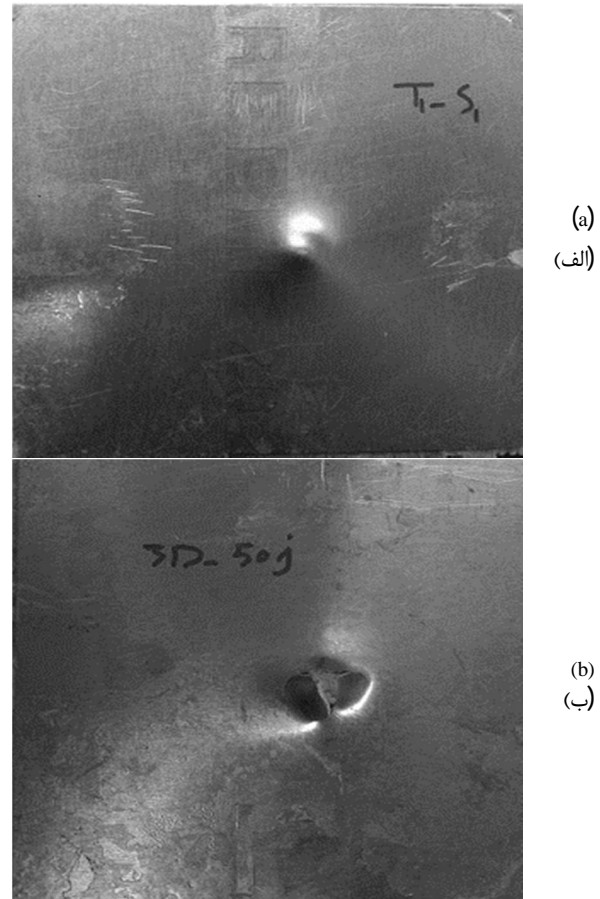


Fig.9 Aluminum back face damage a): woven glass fiber b): 3D woven glass fiber

شکل 9 آسیب صفحه آلومینیوم پشتی الف): الیاف شیشه بافت ساده ب): الیاف شیشه بافت سه بعدی

است. زمان شروع ضربه در هر دو نمونه به صفر منتقل شده تا مدت زمان مقاومت در برابر پرتابه در هر دو نمونه با هم مقایسه شود. مطابق شکل 10، در حالت تجربی پیک منحنی شتاب برابر با 1170 متر بر مجذور ثانیه بوده و فرایند ضربه نیز به مدت 4.3 میلی ثانیه طول کشیده است. در مدل المان محدود نیز پیک منحنی شتاب برابر با 1365 متر بر مجذور ثانیه بوده و مدت زمان پرتابه 3.7 میلی ثانیه است.

6- نتیجه گیری

در تحقیق حاضر اثرات استفاده از الیاف شیشه بافت سه بعدی بر قابلیت جذب انرژی فلز- ماده مرکب شیشه اپوکسی در مقایسه با الیاف شیشه بافت ساده با استفاده از آزمایش ضربه سرعت پایین بررسی شد. نتایج نشان می‌دهد که مقاومت در برابر ضربه نمونه‌های ساخته شده بر پایه الیاف شیشه بافت ساده بیشتر از الیاف شیشه بافت سه بعدی است. یکی از دلایل بالا بودن مقاومت به ضربه الیاف شیشه بافت ساده نسبت به بافت سه بعدی، نحوه توزیع نیروی وارده به نمونه‌ها است. به این صورت که در نمونه بافت ساده انتقال بار ضربه در هر دو جهت الیاف توزیع می‌شود که ناحیه بزرگ‌تری برای مقاومت در برابر انرژی ضربه ایجاد می‌کند. در مقابل، در نمونه بافت سه بعدی، الیاف جهت‌دار جانبی در ناحیه هسته وجود ندارد، بلکه همه الیاف در راستای ضخامت هستند. انرژی ضربه به‌طور عمده با فشردن الیاف عمودی جذب می‌شود که موجب مقاومت در برابر ضربه کم و ناحیه آسیب کوچک‌تر می‌شود.