



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

* 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

کلید واژگان:

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 کامپوزیت های چندلایه فلز - ماده مرکب شیشه اپوکسی ساخته شده به روش انتقال رزین به قالب توسط خلأ به صورت تجربی می پردازد. کامپوزیت چندلایه فلز - ماده مرکب شیشه اپوکسی، از 2 و 3 رویه آلومینیومی با آلیاژ 2024 و هسته کامپوزیتی شیشه اپوکسی تشکیل شده است. هسته کامپوزیتی برای نمونه های الیاف شیشه بافت ساده شامل الیاف شیشه بافت ساده با وزن واحد سطح 200 گرم بر مترمربع، نمونه های الیاف شیشه بافت سه بعدی شامل پارچه الیاف شیشه بافت سه بعدی به ضخامت 5 میلی متر، رزین R510 و سخت کننده H515 است. نمونه های 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 انرژی های ضربه 80 و 50 ژول انجام گرفت. نتایج حاصل از آزمایش ضربه سرعت پایین نشان دهنده این است که میزان مقاومت در برابر ضربه نمونه های بافت ساده در مقایسه با نمونه های بافت سه بعدی در انرژی های مختلف، بیشتر و بهتر است. در کاربردهایی که وزن جزء عامل - های تاثیر گذار مطرح است، وزن نمونه های ساخته شده بر پایه الیاف شیشه بافت سه بعدی نسبت به الیاف شیشه بافت ساده کم تر 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 یافته اند. این مواد خواص آلیاژهای فلزی و مواد مرکب را باهم دارا می باشند.

مواد فلزی دارای قدرت تحمل بالا، مقاومت به ضربه خوب و تعمیر آسان هستند، در حالی که 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 دهه های گذشته تلاش های زیادی توسط محققین برای ساخت ماده ای که بتواند خواص خستگی و مکانیکی خوبی در مقایسه با آلومینیوم داشته و به طور همزمان وزن پایینی را دارا باشد، انجام شده است. این تلاش ها منجر به ساخت کامپوزیت های¹ چندلایه فیبر- فلز² گردید که ترکیبی از ورق های فلزی نازک و لایه های کامپوزیتی تقویت شده با الیاف هستند که در صنایع

1- Composite
2- FML(Fiber Metal Laminate)

3- Matrix

Please cite this article using:

R. Amooyi Dizaji, M. Yazdani, An experimental investigation of the effect of 3D fabric in the amount of energy absorbed in the GLARE composite, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 16, No. 4, pp. 49-54, 2016 (in Persian)

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

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. هایتانو 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 لایه‌لایه شدگی میان لایه‌ای 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 سرعت‌پایین 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 سرعت‌پایین 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 بافته‌شده باید به‌عنوان ماده انتخاب شوند، استحکام مواد و قابلیت تحمل نیرو کامپوزیت با الیاف شیشه تک جهت در مقایسه با کامپوزیت، با الیاف شیشه بافته‌شده و الیاف آرامید تحت بارگذاری خمشی شبه استاتیکی بسیار مناسب است؛ بنابراین باید کامپوزیت با الیاف شیشه تک جهت در بارگذاری‌های

استاتیکی انتخاب شود. مورنیر و همکاران [10] به مطالعه پاسخ ضربه سرعت کم در چندلایه‌های فیبر-فلز گلیر پرداختند. روش پیشرفت شبه استاتیکی به مطالعه پاسخ ضربه سرعت کم را در چندلایه فیبر-فلز گلیر توسعه داده و جرم ضربه، نیروی ضربه و مدت زمان ضربه برای پرتابه را مورد بررسی قرار دادند. ارزیابی بیشتر، درک مناسبی از نقش ترکیب‌های مواد، یعنی آلومینیوم 2024-T3 و لایه شیشه-اپوکسی با توجه به جذب انرژی، خمش صفحه و رشد آسیب را نشان می‌دهد. لایه‌های آلومینیوم 90 درصد از انرژی جذب شده را اتلاف می‌کنند. هسته کامپوزیتی با تغییر مشخصه‌های تغییر شکل آلومینیوم رشد ترک را به تأخیر می‌اندازد و چای [11] پاسخ ضربه سرعت کم را در کامپوزیت چندلایه فیبر و فلز بر پایه الیاف شیشه تک جهت و بافته شده را مورد بررسی قرار داده و مشاهده کردند که ناحیه پلاستیک در لایه آلومینیوم از نقطه تماس آغاز شده و گسترش می‌یابد. کامپوزیت‌های چندلایه فیبر-فلز با الیاف تک جهت مقاومت به ضربه بهتری نسبت به الیاف بافته شده، هنگامی که سوراخ شدگی اتفاق می‌افتد نشان داده است. اصابی و همکاران [12] نوع جدیدی از کامپوزیت‌های چندلایه ساندویچی فیبر و فلز (منیزیم-فیبر شیشه) با الیاف شیشه بافته شده سه‌بعدی را تحت ضربه سرعت‌پایین و باحالت‌های مختلف شکست مورد بررسی قرار دادند. پاسخ ضربه کامپوزیت چندلایه فیبر/فلز در طول زمان نشان می‌دهد که کامپوزیت فیبر-فلز براساس پارچه بافت سه‌بعدی می‌تواند بیشترین انرژی ضربه را در مقایسه با سایر انواع کامپوزیت‌های چندلایه فیبر-فلز را جذب کند، در صورتی که بحث وزن مطرح باشد.

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.

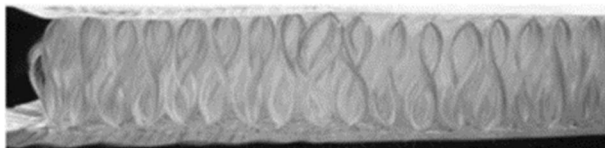


Fig.1 3D fiberglass fabric

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.

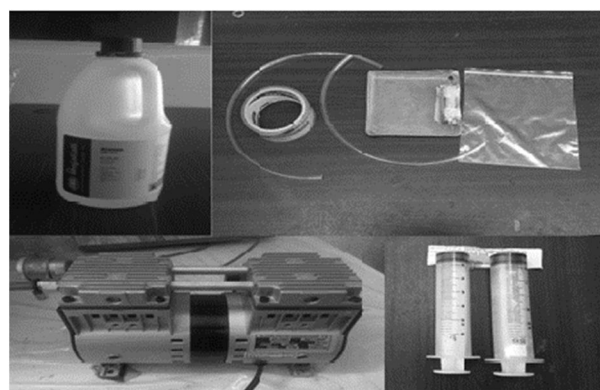


Fig.2 Tools used in manufacture of samples with VARTM method

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

جدول 1 مشخصات نمونه‌ها

Table 1 Sample properties

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 3-2 با الیاف شیشه بافت ساده، سری دوم بررسی دو نمونه با لایه چینی 3-2 با دو نوع بافت متفاوت تحت ضربه با انرژی 80 ژول و سری سوم بررسی دو نمونه با لایه چینی 2-1 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 میلی - متر 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.

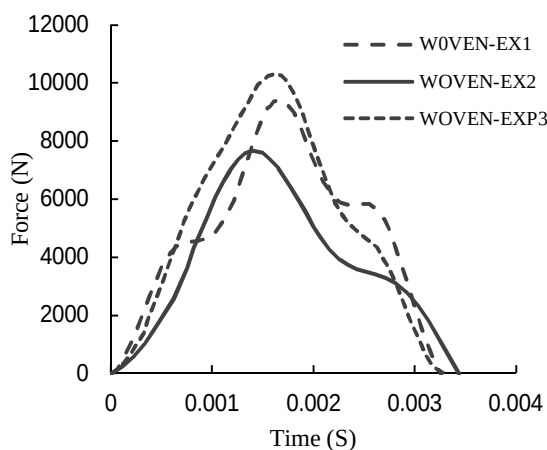


Fig.5 Comparison samples with 3-2 lay-up under 80J impact energy

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

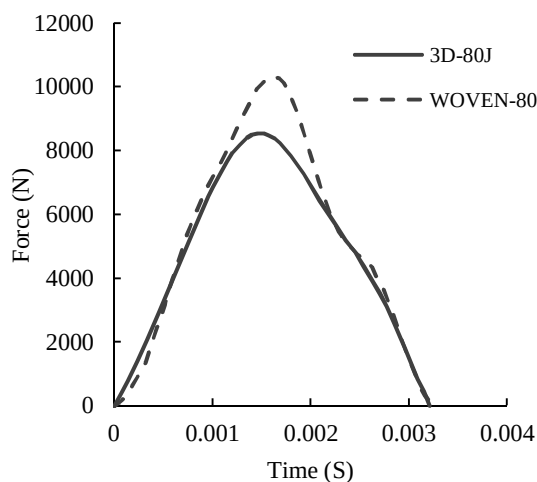


Fig.6 Comparison of two samples with 3-2 lay-up under 80 impact

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

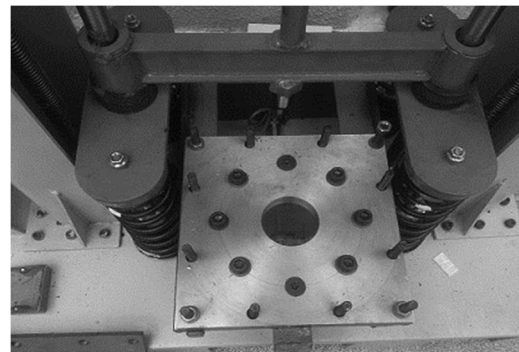


Fig.4 Sample fixture

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.

4- آنالیز المان محدود

آنالیز عددی با استفاده از نرم‌افزار المان محدود دینامیکی غیرخطی ال اس داین انجام شده است. به‌دلیل 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 2024-T3 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

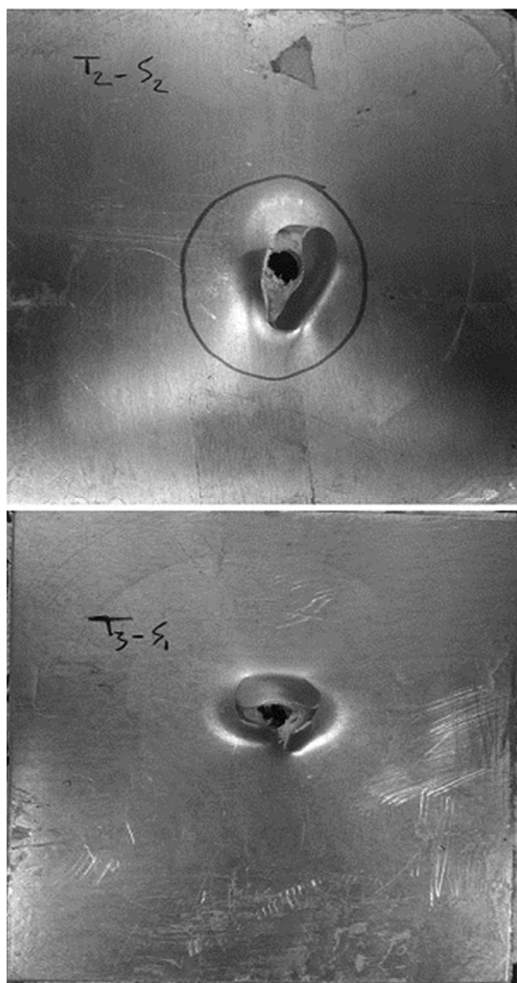


Fig.7 Aluminum back face damage a): woven glass fiber b): 3D woven glass fiber

شکل 7 آسیب صفحه آلومینیوم پستی (الف): الیاف شیشه بافت ساده (ب): الیاف شیشه بافت سه‌بعدی

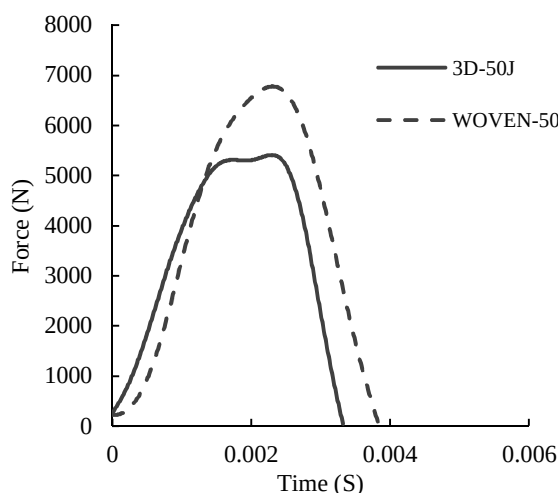


Fig.8 Comparison of two samples with 2-1 lay-up under 50J impact

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

این لایه‌لایه شدگی در نمونه با الیاف شیشه بافت ساده مشاهده می‌شود، درحالی که لایه‌لایه شدگی در نمونه با یافت سه بعدی کمتر است که نشان می‌دهد انرژی جذب شده در نمونه بافت ساده بیشتر از نمونه بافت سه بعدی است. گسترش لایه‌لایه شدگی در لایه‌های 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 سه‌بعدی 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 بزرگ‌تری برای مقاومت در برابر انرژی ضربه ایجاد می‌کند. به عبارت دیگر، بار انتقالی در راستای الیاف اجازه ایجاد ناحیه آسیب بزرگ‌تری را می‌دهد (ناحیه لایه‌لایه شدگی بزرگ‌تر). 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. به نظر می‌رسد 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 بافت سه بعدی، 3 لایه از این بافت استفاده شده است. ساختار الیاف شیشه بافت سه بعدی نیز با توجه به این‌که دو سطح بافته شده توسط الیاف به هم متصل می‌شوند تراکم کم‌تری خواهند داشت که می‌تواند یکی از دلایل تاثیرگذار باشد.

همچنین در شکل 7 مشاهده می‌شود که نمونه با الیاف شیشه بافت سه‌بعدی و نمونه با الیاف شیشه بافت ساده هر دو به‌طور کامل سوراخ شده است.

شکل 8 مقایسه دو نمونه با الیاف شیشه بافت ساده و الیاف شیشه بافت سه‌بعدی تحت انرژی ضربه 50 ژول را نشان می‌دهد.

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 سه‌بعدی 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 سه‌بعدی است.

در شکل 9 ناحیه آسیب سطح پستی نمونه‌ها تحت ضربه با انرژی 50 ژول مشاهده می‌شود. مطابق شکل 9، ناحیه آسیب در نمونه ساخته شده با الیاف شیشه بافت سه‌بعدی دچار سوراخ شده ولی نه به‌طور 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 پستی جابجا شده است.

با توجه به مقدار عمق نفوذ پرتابه در نمونه‌ها که مقدار این نفوذ در نمونه با الیاف شیشه بافت ساده نسبت به نمونه با الیاف شیشه بافت سه بعدی کم‌تر 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 برحسب زمان برای نمونه کامپوزیت چندلایه فیبر

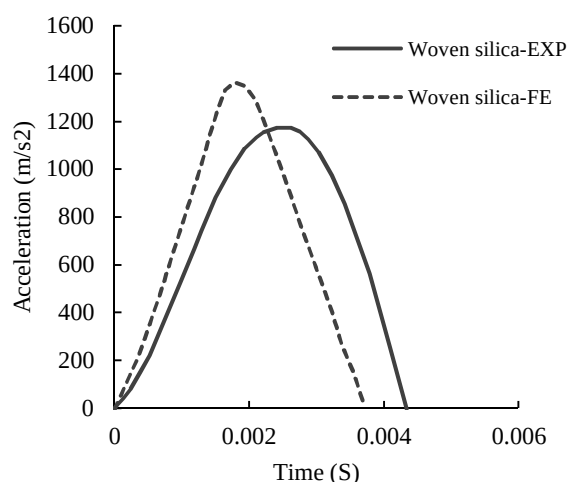


Fig.10 Comparison experimental and numerical results of sample with 2-1 lay-up under 40J impact

شکل 10 مقایسه نتایج تجربی و عددی نمونه با لایه چینی 2-1 تحت ضربه 40 ژول

همچنین استفاده از الیاف شیشه بافت سه‌بعدی 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. Sayeefatabi, 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. Evci, 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.

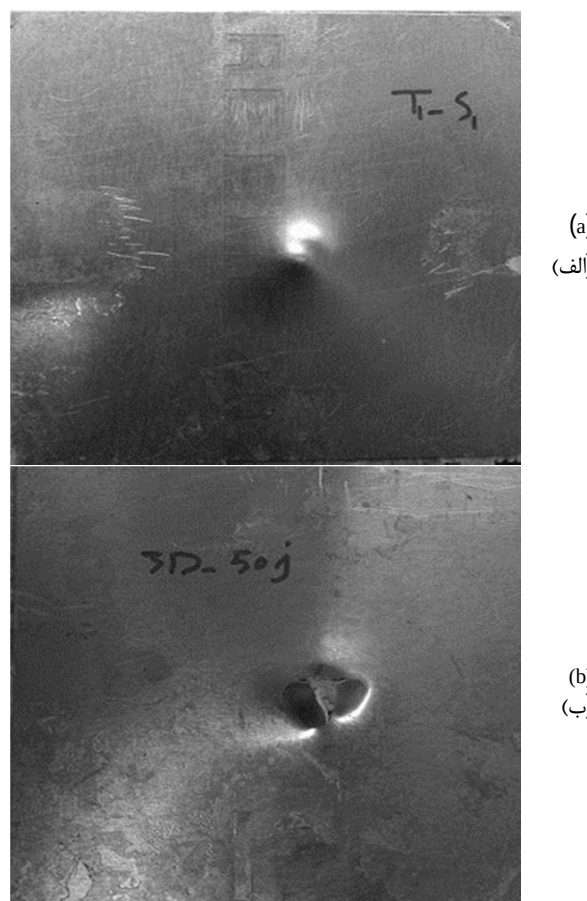


Fig.9 Aluminum back face damage a): woven glass fiber b): 3D woven glass fiber

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

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 میلی‌ثانیه 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 میلی‌ثانیه است.

6- نتیجه گیری

در تحقیق حاضر اثرات استفاده از الیاف شیشه بافت سه‌بعدی بر قابلیت جذب انرژی فلز- ماده مرکب شیشه اپوکسی در مقایسه با الیاف شیشه بافت ساده با استفاده از آزمایش ضربه سرعت‌پایین 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 سه‌بعدی، 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.