



بررسی تجربی اثر پلاسما بر خواص مکانیکی و مقاومت به ضربه کامپوزیت‌های آلومینیوم-شیشه اپوکسی

میلاذ اسفندیار*، حسین رحیمی آسیابارکی*، مصطفی اکبری

عضو هیئت‌علمی، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه ملی مهارت، تهران، ایران
* ایمیل نویسنده مسئول: h.rahimi@nus.ac.ir و m_esfandiar@nus.ac.ir

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی

دریافت: ۲۹ مرداد ۱۴۰۳

پذیرش: ۱ آذر ۱۴۰۳

کلیدواژگان:

خواص مکانیکی

ضربه‌پذیری

مقاومت به ضربه

کامپوزیت‌های VARTM

اثر پلاسما

چکیده

کامپوزیت‌ها در دنیای مهندسی و زندگی روزمره انسان‌ها اهمیت فراوانی دارند به‌گونه‌ای که در تمامی صنایع از قبیل خودروسازی، نظامی، پزشکی و غیره می‌توان استفاده از این مواد را به‌وضوح مشاهده نمود. این پژوهش به بررسی خواص مکانیکی، خواص ضربه‌پذیری و جذب انرژی نمونه‌های کامپوزیتی آلومینیوم-شیشه اپوکسی ساخته‌شده به روش تزریق در خلأ پرداخته است. برای بررسی اثر پلاسماکاری بر نتایج تجربی، نمونه‌های کامپوزیتی به دو دسته پلاسماکاری‌شده و بدون پلاسماکاری تقسیم شدند. آزمون‌های انجام شده شامل آزمون تست کشش استاندارد، آزمون خمش سه‌نقطه و آزمون ضربه سقوط آزاد می‌باشد. در این پژوهش مدول الاستیک، تنش تسلیم، بیشینه تغییر طول و چقرمگی از آزمون کشش استاندارد، استحکام خمشی و مدول الاستیک خمشی از آزمون خمش سه‌نقطه‌ای و پارامترهای جذب انرژی، مقاومت به ضربه در سرعت‌های مختلف از آزمون ضربه سقوط آزاد به دست آمده‌اند. نتایج نشان داد کامپوزیت‌های ساخته‌شده به روش تزریق در خلأ، خواص مکانیکی و ضربه‌پذیری بسیار مناسبی را نسبت به نمونه فلزی از خود نشان می‌دهند و همچنین پلاسماکاری موجب می‌شود تا تنش تسلیم ۸/۱ درصد، مدول الاستیک ۷ درصد، تنش نهایی ۱۶/۳ درصد، استحکام خمشی ۲/۳ درصد و مدول الاستیک خمشی ۳ درصد نسبت به نمونه کامپوزیتی بدون پلاسماکاری بهبود یابد.

Experimental investigation of plasma effect on mechanical properties and impact resistance of aluminum-glass epoxy composites

Milad Esfandiar*, Hossein Rahimi Asiabaraki*, Mostafa Akbari

Faculty Member, Department of Mechanical Engineering, National University of Skills (NUS), Tehran, Iran

* Corresponding Author's Email: m_esfandiar@nus.ac.ir & h.rahimi@nus.ac.ir

Article Information

Original Research Paper

Received: 19 August 2024

Accepted: 21 November 2024

Keywords:

Mechanical Properties

Impactability

Impact Resistance

VARTM Composites

Plasma Effect

Abstract

Composites hold significant importance in the world of engineering and everyday human life, with their usage evident in various industries such as automotive, military, medical, and others. This research investigates the mechanical properties, impactability properties, and energy absorption of aluminum-glass epoxy composite samples manufactured through vacuum infusion. To investigate the effect of plasma treatment on experimental results, the composite samples were divided into two categories: plasma-treated and untreated. The tests conducted include standard tensile test, three-point bending test, and free-fall impact test. This research measures the elastic modulus, yield stress, maximum length change, and toughness from the standard tensile test; bending strength and bending elastic modulus from the three-point bending test; and energy absorption parameters and impact resistance at different speeds from the free-fall impact test. The results showed that composites manufactured using the vacuum infusion method exhibit significantly better mechanical and impactability properties compared to metal samples. Additionally, plasma treatment improves the yield stress by 8.1%, the elastic modulus by 7%, the ultimate stress by 16.3%, the bending strength by 2.3%, and the bending elastic modulus by 3% compared to the untreated composite samples.

Please cite this article using:

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

Esfandiar M, Rahimi Asiabaraki H, Akbari M. Experimental investigation of plasma effect on mechanical properties and impact resistance of aluminum-glass epoxy composites. Iranian Journal of Manufacturing Engineering. 2024 Dec 21;11(10):45-55. doi: 10.22034/ijme.2024.473465.1996 [In Persian]

۱- مقدمه

در سال های اخیر استفاده از کامپوزیت ها در دنیای مهندسی و زندگی روزمره انسان ها افزایش چشمگیری داشته است. به گونه ای که در تمامی صنایع از قبیل خودروسازی، نظامی، پزشکی و غیره می توان استفاده از این مواد را به وضوح مشاهده نمود. دلیل این امر افزایش نسبت استحکام به وزن سازه بدون افزایش هزینه های تولید است. از طرفی این نوع مواد سازگاری بسیار مناسبی با شرایط نامطلوب کاری از قبیل خوردگی، سایش، ضربه، حرارت و ... دارند. بر همین اساس نحوه تولید این مواد بسیار حائز اهمیت است [۱، ۲]. از جمله روش های تولید کامپوزیت می توان به روش های سنتی نظیر لایه چینی، غرقاب کردن در رزین و ... و یا روش های جدید از قبیل انواع تزریق، قالب گیری های بسته و ... اشاره نمود. در مورد کامپوزیت های رزینی این نکته حائز اهمیت است که در کنار مزایای بسیاری از قبیل: ارزان بودن این کامپوزیت ها، سادگی روش ساخت آن ها نسبت به سایر کامپوزیت ها، عدم نیاز به تجهیزات پخت (در صورت استفاده از رزین های پخت شونده در دمای محیط) و نسبت الیاف به رزین بیشتر در مقایسه با سایر روش های ساخت، معایبی نیز به همراه دارند که می توان به مواردی از قبیل وابستگی به مهارت های فردی در ساخت، عدم خیس شدن کافی لایه ها به دلیل رزین کمتر، ایجاد حباب های هوا در فرآیند ساخت، نیاز به تهویه در زمان کار، نیاز به رقیق شدن رزین در این روش و از دست دادن برخی خواص حرارتی و غیره اشاره کرد [۳].

به همین دلیل برای ساخت این نوع کامپوزیت ها که عموماً کامپوزیت های زمینه پلیمری هستند می توان از روش پارچه های پیش آغشته استفاده کرد. در این روش ابتدا پارچه را با استفاده از محلول های تهیه شده و رقیق شده با نسبت ۱:۶ خیس نموده و سپس برای ساخت کامپوزیت و نمونه های واقعی استفاده می کنند [۴]. در این روش می توان از روش پخت بسته استفاده نمود؛ اما در این روش معایب بی شماری وجود دارد که از جمله آن ها می توان به ایجاد حباب در لبه های نمونه اشاره کرد. همچنین در این روش سطح ماتریس فلزی به دلیل خلل و فرج های موجود و یا تنش های پسماند ناشی از ساخت قابلیت نشست پارچه را به صورت کامل ندارد و جدایش پارچه در این روش امری مرسوم است. بنابراین روش های قالب گیری انتقالی رزین^۱ برای رفع این معایب ابداع شد. در این روش پارچه ها به صورت توده خشک مواد روی هم و در داخل قالب خوابانده می شوند. گاهی اوقات پارچه ها به شکل قالب به هم فشرده می شوند و سپس از نوعی چسب برای شکل دهی استفاده می شود که البته این یک اتصال اولیه است. سپس با یک نوار لبه های آن آب بندی شده و رزین به درون فضای این دو قالب که الیاف نیز همان جا قرار گرفته است تزریق می شود. ضمناً از پمپ خلأ نیز جهت ایجاد خلأ در بین دو قالب می توان استفاده کرد تا رزین به راحتی در تمام فضاهای الیاف و قالب حرکت کرده و از اینکه حباب هوایی در لابه لای سازه باقی بماند جلوگیری نماید. در صورتی که این عمل قالب گیری که از نوع روش های قالب گیری بسته می باشد، در خلأ انجام شود به آن VARTM^۲ گفته می شود [۵]. این روش برخی معایب که در بالا به آن اشاره شد را مرتفع می سازد و حتی تا حدودی مشکل عدم چسبندگی پارچه به سطح را نیز کاهش می دهد.

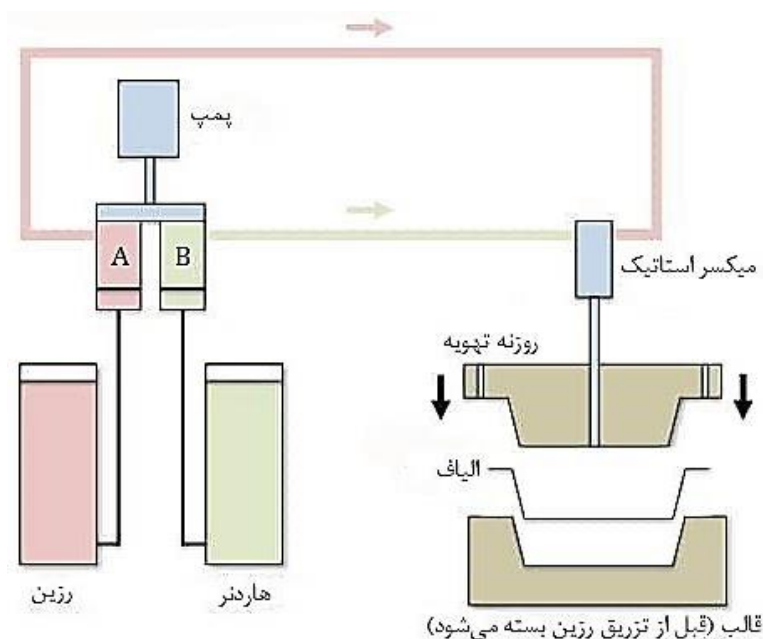
روش کار در فرآیند قالب گیری انتقالی رزین به کمک خلأ در شکل ۱ نشان داده شده است. در این روش تمامی فرآیند انتقال تحت خلأ انجام می شود، در نتیجه عدم خیس و ایجاد حباب در این روش وجود ندارد. این روش در واقع مشابه روش قالب گیری دستی است و می توان هر هندسه ای را در هر ابعادی تولید کرد و هزینه تولید آن نسبت به سایر روش های قالب گیری بسته بسیار ارزان تر و مقرون به صرفه تر است. شکل ۲ مراحل این روش را نشان می دهد [۶].

در جهت تقویت کامپوزیت های پلیمری تحقیقات گسترده ای از لحاظ تئوری و تجربی صورت گرفته است که می توان به برخی از آن ها اشاره داشت؛ نیکفر و همکاران [۷] تقویت کننده و ویژگی های اینترفاز به عنوان زنجیره های پلیمری جذب شده بر روی نانوذرات در نانوکامپوزیت های پلیمری را بررسی کردند. زنجیره های پلیمری جذب شده روی سطح نانوذرات به عنوان یک لایه بین فازی در نظر گرفته شده اند که باعث افزایش راندمان تقویت کننده نانوذرات در نانوکامپوزیت های پلیمری می شود. فاز میانی برای افزایش کسر حجمی مؤثر نانوذرات در نظر گرفته می شود که توسط مدل ماکسول برای مدول یانگ کامپوزیت ها تعیین می گردد. همچنین مدول و قدرت اینترفاز توسط مدل های مناسب محاسبه می شود. شاه نظری و اسفندیار [۸]، اثرات مویرگی در یک مدل قالب گیری انتقال رزین موجود برای شبیه سازی پردازش VARTM را مورد بررسی قرار داده اند. برای افزایش دقت شبیه سازی فرآیند VARTM، اثر فشار

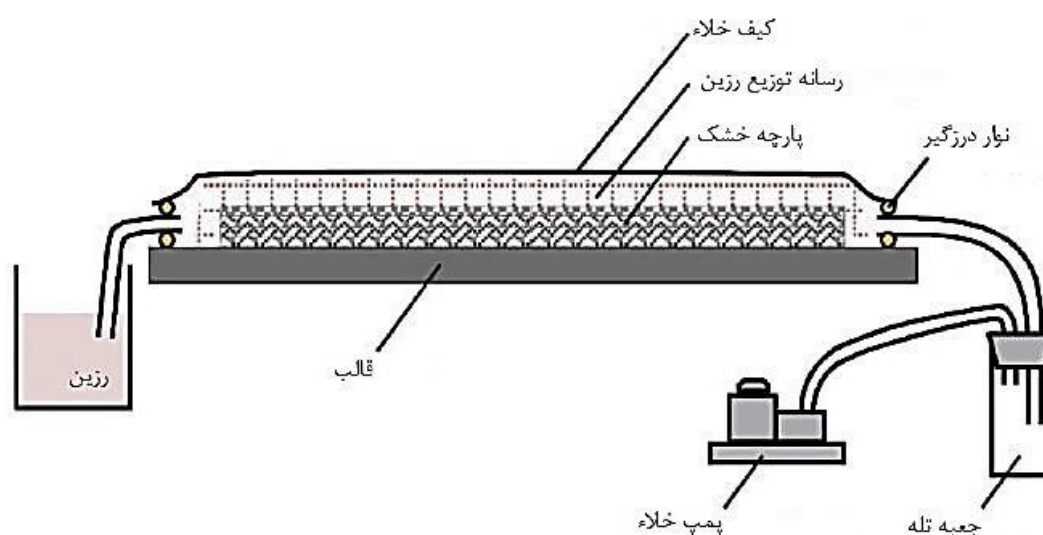
¹ Resin Transfer Molding (RTM)

² Vacuum Assisted Resin Transfer Molding (VARTM)

مویرگی بر روی سطح بدون جریان با استفاده از روش المان مرزی مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج شبیه‌سازی به داده‌های تجربی گزارش شده توسط سایر محققان نزدیک بوده است. بنابراین با بررسی اثرات فشار مویرگی بر تزریق جریان به مواد متخلخل، می‌توان اطمینان و دقت بهتری را از پیش‌بینی‌های نظری به دست آورد. عظیم‌پور شیشوان و همکاران [۹] رفتار مقاومت به ضربه با سرعت پایین را برای دو نوع از مواد رایج فلزی فولادی و آلومینیومی و دو نوع ماده کامپوزیتی زمینه اپوکسی تقویت‌شده با الیاف کربن و شیشه به صورت عددی مورد بررسی قرار دادند و دریافتند که کامپوزیت تقویت‌شده با الیاف شیشه دارای عملکرد بهتر در مقایسه با کامپوزیت زمینه اپوکسی تقویت‌شده با الیاف کربن است.



شکل ۱ دیاگرام تشریح فرآیند VARTM



شکل ۲ مراحل فرآیند VARTM

عملیات پلاسماکاری نوعی از عملیات تکمیلی است که عموماً از نوع پوشش‌های سطحی می‌باشد. از این روش برای آب‌دوست کردن سطوح، اتصال کامل و بدون خلل و فرج سطوح به یکدیگر و یا انتقال برخی از خواص لازم بر روی انواع سطوح از قبیل فلزی،

چوبی، پارچه‌ای و حتی بردهای الکترونیک استفاده می‌کنند [۱۰]. این عملیات که به پلاسما دژ نیز معروف است توسط فناوری پلاسما سرد و تحت خلأ انجام می‌شود و می‌توان برخی خواص مورد نیاز را بر روی سطح خارجی نمونه ایجاد کرد. از مهم‌ترین ویژگی‌های این روش می‌توان به یکنواختی پوشش روی سطح، مصرف پایین مواد اولیه، کیفیت سطح بالا پس از انجام عملیات و غیره اشاره نمود. با مطالعه منابع مختلف مشاهده شد که اکثر مطالعات انجام‌شده بر روی ساخت کامپوزیت‌ها به روش VARTM مربوط به کامپوزیت‌های زیست‌تخریب‌پذیر با الیاف کنف طبیعی است و در مورد خواص مکانیکی کامپوزیت‌های آلومینیوم-شیشه اپوکسی با اثر پلاسما تحقیقات محدودی موجود می‌باشد. در پژوهش حاضر، هسته آلومینیومی یک سری از نمونه‌های کامپوزیتی پیش از ساخت پلاسماکاری می‌شوند تا بتوان تأثیر این فرآیند را بر خواص مکانیکی کامپوزیت‌های VARTM بررسی نمود. در این فرآیند یک فیلم بسیار نازک نانومتری بر روی سطح قرار داده می‌شود که برخی خواص موردنظر را به سطح خارجی نمونه اعمال می‌نماید.

۲- مواد و روش‌ها

نمونه‌های مورد مطالعه در این پژوهش کامپوزیت‌های آلومینیوم-شیشه اپوکسی هستند که به روش VARTM ساخته شده‌اند. به منظور بررسی اثرات پلاسما، از هر نمونه دو سری ساخته شده است که در سری اول، صفحه فلزی نمونه پیش از ساخت کامپوزیت، تحت عملیات پلاسماکاری قرار گرفته است و سری دوم بدون عملیات پلاسماکاری ساخته شده‌اند.

نمونه‌های مورد مطالعه بر اساس نمونه‌های استاندارد آزمون کشش، آزمون خمش سه نقطه و همچنین نمونه‌های مربعی جهت انجام آزمون ضربه سقوط آزاد تهیه شده‌اند. نمونه‌ها دارای یک هسته آلومینیومی می‌باشند که در دو طرف آن لایه‌های پارچه قرار گرفته است و در قالب وکیوم و با تزریق رزین اپوکسی ساخته شده‌اند. رزین مورد استفاده برای ساخت نمونه‌ها، رزین اپوکسی ML-506 می‌باشد که مطابق دستورالعمل شرکت سازنده از هاردنر HA-11 با نسبت ۱ به ۱۳ به رزین اپوکسی افزوده شده است. با توجه به لزجت پایین می‌توان از این رزین برای ساخت هر نوع قطعه‌ای با الیاف استفاده نمود. حتی می‌توان بجای الیاف شیشه از الیاف کنفی نیز در این رزین استفاده کرد. خواص حرارتی و مکانیکی رزین مورد نظر در جدول ۱ ذکر شده است [۱۱].

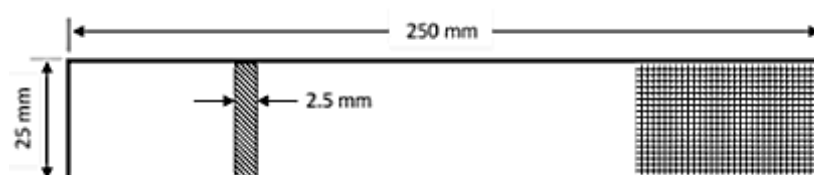
جدول ۱ خواص رزین ML-506

خواص حرارتی		
ویژگی	مقدار	استاندارد ASTM
مقاومت حرارتی تا نقطه نرمی	۶۳	D648
مقاومت حرارتی عملی	۸۰	D648
ضریب انبساط طولی	۶/۲e-۶	D864
خواص مکانیکی		
ویژگی	مقدار	استاندارد ASTM
مقاومت فشاری	۹۷۴	D695M
مدول فشاری	۹۳۷۱	D695M
مقاومت کششی	۷۶۱	D638M
مدول کششی	۲۷۸۹۰	D638M
سختی	۸۲	D2240

برای هر سه آزمایش کشش، خمش سه نقطه‌ای و ضربه سقوط آزاد، ابتدا یک نمونه آلومینیومی مطابق استاندارد تهیه و مورد آزمون واقع شد و نتایج حاصل از آزمون‌ها به دست آمد. در ادامه نمونه‌های کامپوزیتی به روش VARTM در شرایط کاملاً مشابه و منطبق با استاندارد مورد آزمون واقع شدند و نتایج آنها مقایسه گردید و در نهایت نمونه‌هایی که به روش VARTM ساخته شده و پلاسماکاری شده‌اند، مورد آزمایش قرار گرفته و نتایج تمامی آزمون‌ها استخراج گردید.

۲-۱- آزمون کشش استاندارد

آزمون کشش یک روش استاندارد برای تعیین خواص مکانیکی کامپوزیت‌ها می‌باشد. برای انجام آزمون کشش در این پژوهش از دستگاه آزمون کشش و خستگی محوری سننم استفاده شده است. بر طبق کاتالوگ ظرفیت این دستگاه ۵۴ کیلو نیوتون و حداکثر فاصله میان دو فک آن ۲۵۴ میلی‌متر است و از مکانیزم جک هیدرولیکی به منظور اعمال نیرو بهره می‌برد. این آزمون در دمای محیطی ۲۵ درجه سانتی‌گراد، رطوبت ۲۶ درصد و سرعت ۵ میلی‌متر بر دقیقه انجام شده است که با توجه به استاندارد، این سرعت برای شبه استاتیکی مطلوب است. میزان طول نمونه میان فک‌های دستگاه آزمون کشش ۱۵۰ میلی‌متر در نظر گرفته شده است و مقدار ۵۰ میلی‌متر در فک بالا و همین مقدار در فک پایین قرار می‌گیرد. چون از الیاف مصنوعی تقویت‌کننده در داخل رزین استفاده نشده است، لذا نیازی به قرار دادن تب و فیکسچر بر روی نمونه‌ها وجود ندارد و مطمئناً نمونه‌ها قبل از لغزش دچار شکست خواهند شد [۱۲]. بعد از آماده‌سازی صفحه کامپوزیتی نمونه‌های موردنیاز برای انجام آزمون کشش مطابق استاندارد ASTM D3039 برش داده می‌شوند [۱۳]. شکل ۳ ابعاد نمونه‌های لازم برای انجام آزمون کشش استاندارد را نمایش می‌دهد.



شکل ۳ ابعاد نمونه‌های لازم برای آزمون کشش

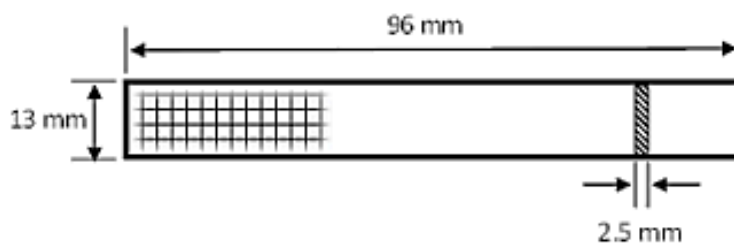
در نهایت نتایج به صورت نمودار نیرو-جابجایی بعد از انجام آزمون استخراج می‌گردد. شکل ۴ کامپوزیت ساخته‌شده و مدل آماده‌شده مطابق استاندارد آزمون کشش را نمایش می‌دهد.



شکل ۴ کامپوزیت ساخته‌شده و مدل آماده‌شده مطابق استاندارد آزمون کشش

۲-۲-آزمون خمش سه نقطه

این آزمون یکی از مهم ترین و کلیدی ترین آزمون ها در تعیین خواص مکانیکی کامپوزیت ها می باشد و می توان پارامترهایی نظیر صلبیت خمشی را از آن استخراج نمود که بر اساس استاندارد ASTM D7246M-03 آماده سازی و اجرا می گردد. نمونه های لازم برای این آزمون مطابق با این استاندارد می بایست دارای حداکثر ۴ میلی متر ضخامت باشند. همچنین مطابق استاندارد فاصله دو تکیه گاه در دستگاه آزمون خمش باید ۳۲ برابر ضخامت باشد که در صورت انتخاب حداکثر ضخامت، این فاصله بایستی ۱۲۸ میلی متر در نظر گرفته شود. همچنین استاندارد بیان می دارد طول نمونه باید ۲۰ درصد بیشتر از فاصله تکیه گاهی باشد یعنی نمونه ها حداکثر می توانند طول برابر ۱۵۳/۶ میلی متر داشته باشند [۱۴]. عرض نمونه در این آزمون الزاماً باید یکسان باشد و با توجه به عدم یکنواختی عرض در زمان ساخت، نمونه ها ابتدا مطابق استاندارد و شرایط مندرج در آن آماده سازی شدند. عرض لازم برای آزمون حداقل ۱۳ میلی متر است. بنابراین تمامی نمونه ها از صفحه کامپوزیتی آماده شده بر اساس ضخامت ۲/۵ میلی متر، برش خورده اند. تمامی مراحل آماده سازی و برش مطابق با استاندارد ASTM D7256M-03 انجام شده است. سرعت انجام آزمون مطابق با پارامترهای موجود در استاندارد، ۱ میلی متر بر دقیقه است و برای انجام آزمون از دستگاه آزمون اینسترون (INSTRON R5500) موجود در دانشگاه صنعتی مالک اشتر استفاده شده است. شکل ۵ ابعاد نمونه های لازم برای آزمون خمش سه نقطه ای را نشان می دهد.



شکل ۵ ابعاد نمونه های لازم برای آزمون خمش سه نقطه

در یک تیر با تکیه گاه های لولایی و بارگذاری متمرکز در مرکز آن، بیشینه تنش در پوسته بیرونی تیر و در وسط تیر به وجود می آید. تنش در هر نقطه از نمودار نیرو-جابجایی می تواند با استفاده از رابطه ۱ بیان شود [۱۵]:

$$\sigma = \frac{3pl}{2bh^2} \quad (1)$$

در رابطه فوق σ میزان تنش در پوسته خارجی تیر و در میانه تیر، مقادیر P و L به ترتیب نیرو و فاصله میان دو تکیه گاه، b عرض تیر و h ضخامت تیر می باشد. همچنین بیشینه مقدار کرنش نیز در پوسته خارجی تیر و در وسط تیر که محل اعمال نیرو است به وجود می آید که مقدار آن با رابطه ۲ بیان می شود [۱۶]:

$$\epsilon = \frac{6\delta h}{L^2} \quad (2)$$

در رابطه ۲، δ نشان دهنده میزان خیز نقطه وسط تیر و تار خنثی تیر می باشد. با توجه به روابط فوق می توان با استفاده از نمودار نیرو-جابجایی که از آزمون خمش سه نقطه به دست می آید، نمودار تنش-کرنش بیشینه را در پوسته خارجی تیر محاسبه کرد. مدول الاستیک تیر به صورت نسبت تنش به کرنش در بازه متنظر تعریف می شود [۱۷]. همچنین برای مدول الاستیک خمشی در استاندارد پیشنهاد شده است که بازه کرنش به طول ۰/۰۰۲ انتخاب شود و بهتر است از کرنش ۰/۰۰۱ تا کرنش ۰/۰۰۳ این بازه انتخاب شود.

۲-۳-آزمون ضربه سقوط آزاد

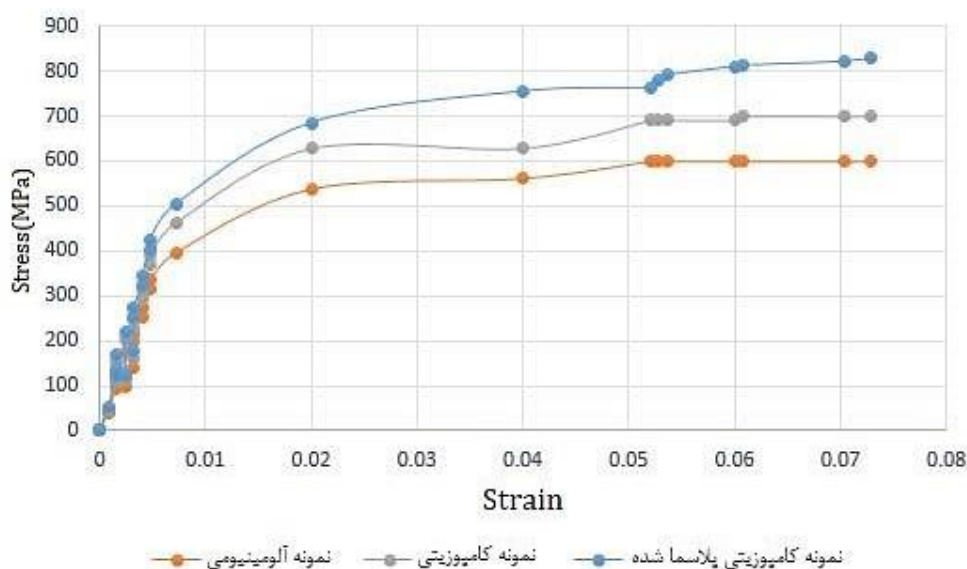
این آزمون از سری آزمون های شناساگر برای مشخصه های دینامیکی یک ماده است. این آزمون می تواند میزان جذب انرژی ضربه یک ماده را مشخص نماید و یا مقاومت یک ماده در برابر برخورد و ضربه را اندازه گیری کند. همان طور که در مقدمه اشاره شد یکی از موارد استفاده ای کامپوزیت ها زمانی است که مقاومت به سایش و ضربه اهمیت بسیار بالایی در طراحی ها داشته باشد به عنوان مثال در صنایع نظامی، هواپیمایی و خودرویی مقاومت به ضربه و جذب انرژی حاصل از برخورد بسیار حائز اهمیت است.

مطابق استاندارد ASTM E23 و استاندارد ASTM D256 آزمون ضربه سقوط آزاد به وسیله پرتابه‌های کروی فولادی به قطر ۷ میلی‌متر و از ارتفاع ۵۰۰ میلی‌متری انجام می‌شود. وزن پرتابه حدوداً ۴۰ گرم است و با سرعت ۲۰ متر بر ثانیه به سمت هدف رها می‌شود. چیدمان آزمون بدین صورت است که صفحه کامپوزیتی ساخته شده بر روی دستگاه قرار گرفته و دو حسگر شتاب‌سنج و نیروسنج^۱ در زیر صفحه (نمونه) نصب می‌گردد. با برخورد پرتابه به هدف مقدار نیروی وارد شده و همچنین شتاب وارد شده به صفحه برحسب زمان اندازه‌گیری می‌شود. داده‌های اندازه‌گیری شده توسط حسگرها به کامپیوتر دستگاه آزمون منتقل می‌گردد و از خروجی‌های حسگر شتاب‌سنج دو مرتبه انتگرال‌گیری می‌شود تا مقدار جابجایی برحسب زمان به دست آید. سپس با استفاده از تبدیل فوریه و انتقال به فضای فرکانسی و حذف نویزها و حذف پارامتر زمان می‌توان نمودار نیرو-جابجایی را برای نمونه‌ها به دست آورد. این آزمون در دانشگاه صنعتی مالک اشتر و مطابق استانداردهای مربوطه انجام شده است.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- آزمون کشش استاندارد

شکل ۶ نتایج آزمون کشش برای هر سه نمونه کلاسیک، کامپوزیت و کامپوزیت پلاسماکاری شده را نمایش می‌دهد.



شکل ۶ مقایسه نتایج آزمون کشش استاندارد برای نمونه‌های آلومینیومی، کامپوزیتی VARTM و کامپوزیتی VARTM پلاسماکاری شده

همان‌طور که در شکل ۶ مشخص است، نمونه‌های کامپوزیتی نسبت به نمونه استاندارد آلومینیوم دارای خواص بهتری هستند. در محدوده تنش ۰ الی ۱۱۸ مگاپاسکال، هر سه نمونه مقدار یکسانی از تنش را در محدوده کرنش وارد شده نشان می‌دهند. ولی از این محدوده به بعد نمونه VARTM نسبت به نمونه کلاسیک سطح تسلیم بالاتر و نرخ رسیدن به کرنش کمتری دارد یعنی نمونه VARTM نسبت به نمونه کلاسیک چقرمگی بیشتری دارد و جریان کرنش الاستیک در آن کندتر شکل می‌گیرد که نشان از بهبود خواص مکانیکی و افزایش مدول الاستیک می‌باشد. همچنین نمونه پلاسماکاری شده نیز نسبت به نمونه بدون پلاسماکاری، سطح تسلیم بیشتری از خود نشان می‌دهد و از آنجا که مساحت زیر منحنی تنش-کرنش برابر چقرمگی می‌باشد، مشخص است که پلاسماکاری نمونه، چقرمگی را افزایش می‌دهد. از طرفی پلاسماکاری شیب منحنی تنش-کرنش را افزایش داده و می‌تواند نسبت استحکام به وزن بیشتری نسبت به نمونه کامپوزیتی بدون پلاسماکاری و نمونه کلاسیک داشته باشد. تنش تسلیم در نمونه کامپوزیتی بیشتر از نمونه کلاسیک و در نمونه پلاسماکاری شده نیز بیشتر از نمونه بدون پلاسماکاری است. جدول ۲ مقادیر استخراج شده از آزمون کشش استاندارد را برای هر سه نمونه نشان می‌دهد.

¹ Force Transducer

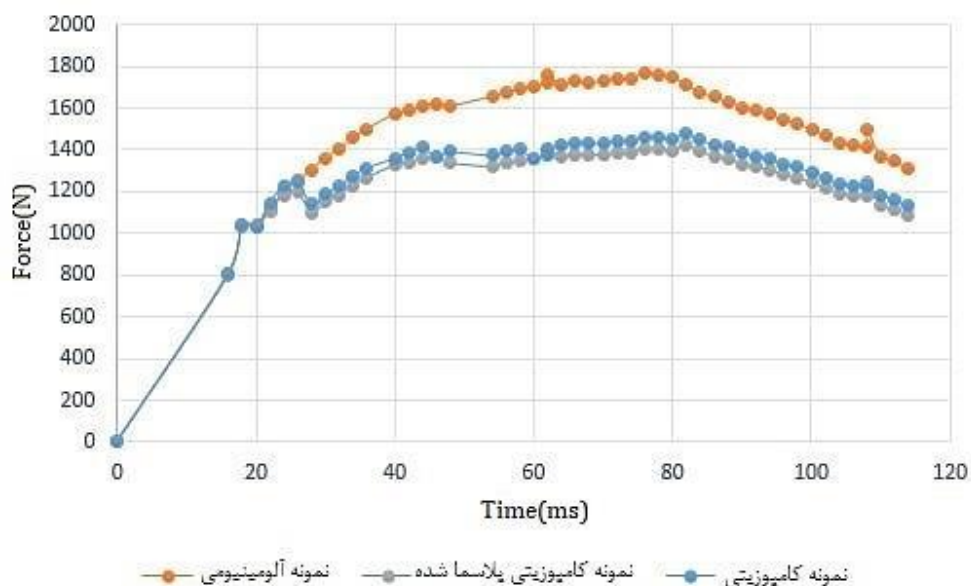
جدول ۳ مقایسه نتایج آزمون خمش سه نقطه برای نمونه های مورد آزمایش

نمونه	استحکام خمشی (MPa)	مدول الاستیک خمشی (MPa)
کلاسیک	۲۱۱	۲۶/۹
VARTM	۲۲۷/۸۸	۲۷/۵۵
VARTM+Plasma	۲۳۳/۱۲	۲۸/۳۸

مطابق جدول ۳، خواص نمونه کامپوزیتی در استحکام خمشی ۸ درصد و در مدول الاستیک خمشی ۲/۴ درصد بهبود یافته اند و این خواص در نمونه پلاسماکاری شده نسبت به نمونه بدون پلاسماکاری به ترتیب ۲/۳ و ۳ درصد افزایش یافته اند؛ بنابراین بدیهی است استفاده از کامپوزیت های VARTM خواص مکانیکی را بهبود می بخشد و پلاسماکاری نیز نتایج نمونه کامپوزیتی را در خواص مکانیکی و خمشی بهبود می دهد.

۳-۳- آزمون ضربه سقوط آزاد

نتایج نیروی ضربه برحسب زمان در شکل ۸ ارائه شده است تا تأثیر کامپوزیت و اثر پلاسماکاری بر میزان نیروی وارده نشان داده شود.



شکل ۸ مقایسه نتایج آزمون ضربه برای نمونه های آلومینیومی، کامپوزیتی VARTM و کامپوزیتی VARTM پلاسماکاری شده

همان طور که در شکل ۸ مشخص است در نمونه کلاسیک نیروی احساس شده توسط نمونه بسیار بیشتر از حالت نمونه کامپوزیتی است که دلیل این امر وجود رزین و پارچه شیشه ای و به طور کلی کامپوزیت است که مانند بستری الاستیک عمل کرده و ضربه وارده به نمونه را به خوبی میرا کرده است تا نیروی کمتری توسط نیروسنج و شتابسنج دستگاه حس شود؛ اما پلاسماکاری تقریباً تأثیر خاصی بر روی رفتار ضربه ای نداشته است و هر دو نمونه کامپوزیتی تقریباً رفتاری مشابه از خود بروز داده اند و می توان نتیجه گرفت که پلاسما کردن هسته فلزی در میرایی نیروی ضربه تأثیر چندانی نخواهد داشت. بنابراین کافی است بجای قطعات آلومینیومی از قطعات ساخته شده به روش VARTM استفاده شود و نیازی به انجام پلاسماکاری نمی باشد.

از خروجی های به دست آمده در آزمون ضربه می توان به محاسبه ضریب میرایی نمونه ها اشاره کرد که مهم ترین پارامتر در رفتار دینامیکی سازه خواهد بود. محاسبات مربوط به این نتایج توسط کامپیوتر متصل به دستگاه آزمون انجام می شود. پارامترهای دینامیکی اندازه گیری شده برای سه نمونه مورد آزمایش در جدول ۴ مشاهده می گردد.

جدول ۴ مقایسه پارامترهای اندازه گیری شده در آزمون ضربه

نمونه	ضریب میرایی بحرانی	مقاومت نسبی ضربه	درصد جذب انرژی ضربه
کلاسیک	۰/۰۶	۱	٪۱۵
VARTM	۰/۴۶۱	۱/۲۳	٪۴۳
VARTM+Plasma	۰/۴۶۸	۱/۲۴۶۹	٪۴۳

ضریب میرایی بحرانی پارامتری وابسته به جنس ماده است و هر چه مقدار بزرگتری داشته باشد ماده موردنظر در مدت زمان کمتری می تواند انرژی ناشی از ضربه را دفع نماید و به اصطلاح زمان فراجهدش پاسخ ماده را کاهش می دهد. نمونه کلاسیک طبیعتاً به دلیل ماهیت فلزی خود و چیدمان اتمی فلزات، انرژی ناشی از ضربه را کاملاً منتقل خواهد کرد ولی نمونه کامپوزیتی به دلیل استفاده از رزین که چیدمان اتمی متفاوتی با فلزات دارد و در برابر انرژی صلبیت کمتری دارد، موج انرژی ناشی از ضربه را در خود نگه داشته و موجب تخریب رزین می شود و به سمت دیگر قطعه منتقل نمی نماید. همچنین استفاده از الیاف شیشه به دلیل اینکه شیشه از مقاومت کششی و فشاری بسیار زیادی برخوردار است، انرژی ناشی از برخورد را بیشتر جذب خواهد کرد و لذا مقاومت به ضربه بیشتری از خود نشان می دهد.

پارامتر مقاومت نسبی ضربه، پارامتری است که میزان تحمل مواد را در مقایسه با یک فلز می سنجد. در واقع این پارامتر بیان می کند که یک ماده چه مقدار از نیروی ضربه را بدون اینکه آسیب ببیند می تواند در خود حبس و میرا نماید. از آنجا که این پارامتر، یک پارامتر نسبی است و با فلزات سنجیده می شود، بنابراین در این آزمون مقدار مقاومت نسبی نمونه کلاسیک که از جنس آلومینیوم است برابر ۱ در نظر گرفته می شود و سایر نمونه ها بر اساس گراف خروجی دستگاه آزمون محاسبه می شوند. همان طور که در جدول ۴ مشخص است، نمونه های کامپوزیتی تقریباً ۲۳ الی ۲۵ درصد بیشتر از آلومینیوم توانایی حبس موج انرژی ضربه را در خود دارند که این موضوع می تواند این نوع از کامپوزیت ها را در کاربردهای جذب انرژی و کاربردهای دینامیکی پرطرفدار سازد.

پارامتر درصد جذب انرژی مفهومی تقریباً مشابه با مقاومت نسبی دارد ولی یک پارامتری نسبی نیست و خود نمونه کلاسیک نیز مقداری از انرژی ضربه را دفع می کند. عدد ۱۵ درصد به این معنا است که اگر یک انسان در پشت یک صفحه آلومینیومی قرار گیرد و با پتک ضربه ای به صفحه زده شود، فقط ۱۵ درصد ضربه پتک توسط صفحه جذب می شود و ۸۵ درصد آن به بدن انسان وارد می گردد؛ ولی این مقدار برای نمونه های کامپوزیتی ساخته شده در این پژوهش مقدار ۴۳ درصد بوده است.

۴- نتیجه گیری

در این پژوهش به تحلیل تجربی رفتار دینامیکی ضربه و خواص مکانیکی کامپوزیت های آلومینیوم-شیشه اپوکسی ساخته شده به روش VARTM پرداخته شد و اثر عملیات پلازماکاری روی هسته آلومینیومی این کامپوزیت نیز به صورت تجربی بررسی گردید. نمونه های ساخته شده در قالب نمونه های مستطیلی برای آزمون کشش استاندارد و صفحات مربعی جهت برش نمونه های آزمون خمش سه نقطه ای و صفحات مربعی لازم برای آزمون ضربه بودند. نمونه های کامپوزیتی به دو صورت تهیه شدند، یک سری از نمونه ها از هسته آلومینیومی پلازماکاری شده و سری دیگر بدون پلازماکاری ساخته شدند. مهمترین نتایج به دست آمده از پژوهش به شرح زیر می باشد:

- تنش تسلیم، استحکام کششی، مدول الاستیک، حداکثر میزان تغییر طول و چقرمگی شکست در نمونه های کامپوزیتی بیشتر از نمونه کلاسیک مشاهده شد و همچنین نمونه پلازماکاری شده نسبت به نمونه بدون پلازماکاری، در این خواص نتایج بهتری داشتند و می توان گفت کامپوزیت با هسته پلازماکاری شده خواص مکانیکی بهتری نسبت به کامپوزیت بدون پلازماکاری خواهد داشت.
- در نمونه های پلازماکاری شده از هسته آلومینیومی دو تکه با اتصال سربه سر استفاده شد که در آزمون کشش این نمونه ها مقاومت بسیار بالایی از خود نشان دادند و از محل اتصال دچار گسیختگی نشدند؛ بنابراین می توان گفت در اتصال مواد به یکدیگر، عملیات پلازماکاری موجب افزایش مقاومت کششی مواد می شود.

- در خواص استحکام خمشی و مدول الاستیک خمشی مشاهده شد که خواص نمونه کامپوزیتی نسبت به نمونه کلاسیک به ترتیب ۸ و ۲/۴ درصد بهبود یافته است و همچنین نمونه پلاسماکاری شده نیز به ترتیب ۲/۳ و ۳ درصد نسبت به نمونه بدون پلاسماکاری بهبود خواص خمشی را به دنبال داشت.
- در آزمون ضربه دینامیکی (سقوط آزاد) نمونه کامپوزیتی به طرز چشمگیری خواص بهبودیافته تری نسبت به نمونه کلاسیک از خود نشان داد و ۲۳ درصد بهبود در مقاومت به ضربه و میرایی سازه‌ای مشاهده شد. نکته قابل توجه این است که در خواص دینامیکی، عملیات پلاسماکاری تأثیری بر بهبود خواص ضربه‌پذیری نداشته و صرفاً در بهبود خواص مکانیکی اثرگذار است. دلیل این امر نیز این است که خواص دینامیکی مواد بیش از اینکه تابع خواص مکانیکی باشند تابع پارامترهای جرمی و سفتی سازه‌ای هستند بنابراین به این دلیل که عملیات پلاسماکاری تأثیری بر سفتی مواد (ضریب فنری سازه‌ای) ندارد، بر خواص ضربه‌ای نیز تأثیرگذار نخواهد بود.

References

- [1] Salamat-Talab M, Tahmasbi V, Safari M, Zeinolabedin Beygi A. Mathematical modeling, sobol sensitivity analysis and optimization of main parameters in drilling of E-glass/epoxy laminated composites. *Iranian Journal of Manufacturing Engineering*. 2022 Feb 19;8(11):43-53. [In Persian]
- [2] Zeinolabedin Beygi A, Salamat-talab M, Farrokhhabadi A, Moslemi Naeini H. Experimental investigation of the effect of natural microfibers on the mode I fracture toughness of plain-woven laminated composites. *Modares Mechanical Engineering*. 2022 Jan 10;22(2):71-9. [In Persian]
- [3] Bajpai PK, Singh I, Madaan J. Development and characterization of PLA-based green composites: A review. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*. 2014 Jan;27(1):52-81. doi: 10.1177/0892705712439571
- [4] Shekar HS, Ramachandra MJ. Green composites: a review. *Materials Today: Proceedings*. 2018 Jan 1;5(1):2518-26. doi: 10.1016/j.matpr.2017.11.034
- [5] Akil H, Zamri MH, Osman MR. The use of kenaf fibers as reinforcements in composites. In *Biofiber reinforcements in composite materials 2015* Jan 1 (pp. 138-161). Woodhead Publishing. doi: 10.1533/9781782421276.1.138
- [6] Aziz SH, Ansell MP. The effect of alkalization and fibre alignment on the mechanical and thermal properties of kenaf and hemp bast fibre composites: Part 1–polyester resin matrix. *Composites science and technology*. 2004 Jul 1;64(9):1219-30. doi: 10.1016/j.compscitech.2003.10.001
- [7] Nikfar N, Esfandiari M, Shahnazari MR, Mojtahedi N, Zare Y. The reinforcing and characteristics of interphase as the polymer chains adsorbed on the nanoparticles in polymer nanocomposites. *Colloid and Polymer Science*. 2017 Oct;295:2001-10. doi: 10.1007/s00396-017-4164-z
- [8] Shahnazari MR, Esfandiari M. Capillary Effects on Surface Enhancement in a Non-Homogeneous Fibrous Porous Medium. *Mechanics of Advanced Composite Structures*. 2018 Apr 1;5(1):83-90. doi: 10.22075/MACS.2017.1558.1074
- [9] Azimpour Shishevan F, Rahimi Asiabaraki H, Rahmatinejad B. Comparison of dynamic behavior of steel and aluminum materials with epoxy composite reinforced with carbon and glass fibers by FEM. *Iranian Journal of Manufacturing Engineering*. 2023 Aug 23;10(6):40-52. doi: 10.22034/IJME.2023.418523.1845 [In Persian]
- [10] Yousif BF, Shalwan A, Chin CW, Ming KC. Flexural properties of treated and untreated kenaf/epoxy composites. *Materials & Design*. 2012 Sep 1;40:378-85. doi: 10.1016/j.matdes.2012.04.017
- [11] Sarkhosh R, Zarei H. Design, Manufacturing and mechanical and electrical properties evaluation of glass fiber reinforced PTFE polymer matrix composites. *Modares Mechanical Engineering*. 2021 Jan 10;21(2):117-27. [In Persian]
- [12] Manral A, Bajpai PK. Static and dynamic mechanical analysis of geometrically different kenaf/PLA green composite laminates. *Polymer Composites*. 2020 Feb;41(2):691-706. doi: 10.1002/pc.25399
- [13] Mann GS, Singh LP, Kumar P, Singh S. Green composites: A review of processing technologies and recent applications. *Journal of thermoplastic composite materials*. 2020 Aug;33(8):1145-71. doi: 10.1177/0892705718816354
- [14] Ahmad Nadzri SN, Hameed Sultan MT, Md Shah AU, Safri SN, Basri AA. A review on the kenaf/glass hybrid composites with limitations on mechanical and low velocity impact properties. *Polymers*. 2020 Jun 4;12(6):1285. doi: 10.3390/polym12061285
- [15] Beigpour R, Shokrollahi H, Khalili SM. Experimental and numerical analysis of a biodegradable hybrid composite under tensile and three-point bending tests. *Composite Structures*. 2021 Oct 1;273:114255. doi: 10.1016/j.compstruct.2021.114255
- [16] Malik K, Ahmad F, Gunister E. A review on the kenaf fiber reinforced thermoset composites. *Applied Composite Materials*. 2021 Apr;28(2):491-528. doi: 10.1007/s10443-021-09871-5
- [17] Setyayunita T, Widyorini R, Marsoem SN, Irawati D. Study on the characteristics of NaCl treated kenaf fiber epoxy composite board. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 2021* Nov 1 (Vol. 891, No. 1, p. 012006). IOP Publishing. doi: 10.1088/1755-1315/891/1/012006