نشریه علوم و فناوری جوشکاری ایران، سال هفتم، شماره1، بهار و تابستان 1400، صفحه 106-97

ایجاد قابلیت جوشکاری در پلیمرهای گرماسخت تقویت شده به کمک آماده‌سازی سطحی با استفاده از پرتو لیزر

حامدتیربند، داوداکبری*، محمدگلزار

دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

(دریافت مقاله: 1400/05/19؛ پذیرش مقاله: 1400/06/17)

چکیده

در این مقاله استحکام نمونه‌های پلیمری گرماسخت تقویت شده جوشکاری شده به روش فراصوتی که با روش آماده سازی سطحی به کمک پرتو لیزرآماده سازی شده اند، بررسی شده است. هدف اصلی بررسی مکانیزم‌های چسبندگی سطحی بهتراتصال نسبت به سطح ساده و همچنین ایجاد رویکردهای عملی جهت افزایش قدرت چسبندگی اتصال قطعات گرماسخت و استفاده از این فرایند به عنوان تکنیک مقرون به صرفه است. بنابراین از دو ماده گرمانرم پلی متیل متاکریلات و پلی پروپلین به عنوان مواد واسطه برای ایجاد جوشکاری فراصوتی استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهند که پارامتر نیرو وفشاردر این اتصالات پارامترهای غیرتاثیرگذاربوده است و در جوش‌هایی بازمان بالاتر، رزین گرما سخت شروع به تخریب گرمایی کرده است. در تمامی قطعات در زمان جوشکاری، سه پارامتر اصلی فشار، زمان جوشکاری وزمان نگهداری به طور یکسان با مقدار 2 بار، 1/6 ثانیه و 3 ثانیه انتخاب شدند. نتایج نشان می‌دهد حداقل استحکام کششی در نمونه‌های مورد بررسی 1286نیوتن است، که نسبت به حداکثر استحکام کششی نمونه‌های آماده‌سازی بدون سطح چندین برابر افزایش یافته است. نتایج این مقاله نشان می‌دهد که روش آماده سازی سطحی به کمک پرتو لیزر روش موثر در افزایش استحکام چسبندگی قطعات پلیمری گرما سخت می‌باشد.

کلمات کلیدی: جوشکاری فراصوتی، پلیمرهای گرما سخت، آماده سازی سطحی، استحکام کششی.

Investigation of the ultrasonic welding strength in glass fiber reinforced thermoset polymers with surface preparation method using laser beam

H. Tirband, D. Akbari*, M. Golzar

Department of Mechanical Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

(Received 10 August 2021 ; Accepted 8 September 2021)

Abstract

In this research, tensile strength of ultrasonic welded parts made of thermoset polymer-reinforced glass fiber with surface preparation has been investiagted. In order to elevate the adhesion of two surfaces laser grooving method has been applied. Two type of thermoplastic materials including Plymethyl methacrylate (PMMA) and polypropylene (PP) have been used as interlayers. Influences of main welding parameters were investigated. The results show that the force and compression parameters in these joints have been ineffective parameters and in higher weld welds, the thermosetting resin has started thermal degradation. The pressure considered constant and set at 2 bar, welding time set at 1.6 seconds and holding time considered 3 seconds. The results showed that the minimum tensile strength of welded

* نویسنده مسئول، پست الکترونیکی: daakbari@modares.ac.ir

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-11-30]

[DOR: 20.1001.1.2476583.1400.7.1.9.0]

samples with laser surface preparation method is 1286 N, which is much more than maximum tensile strength of welded samples without any surface preapration. This indicates that laser beam surface preparation is an effective method in improving of the adhesion strength of thermoset polymeric parts.

Keywords: Ultrasonic Welding - Hard Heat - Laser Surface - Tensile Strength.

1- مقدمه

استفاده از قطعات پلیمری گرماسخت می‌تواند هزینه‌های مونتاژ را در سازه‌های فضایی حدود 50% نسبت به دیگر مواد پلیمری کاهش دهد [1]. معمولا اتصال پلیمرهای گرما سخت با سه روش اتصال مکانیکی، چسبی و یا ترکیبی از این دو روش می‌باشد. جوشکاری این مواد بسیار محدود بوده و نیازمند توسعه روش‌های جدید است که در صورت توسعه تکنولوژی جوشکاری این مواد، باعث کاهش نسبی زمان و مقرون به صرفه‌تر و پوشاندن عیوب روش‌های دیگر اتصال خواهد شد [1]. در اتصالات مکانیکی بزرگترین نقطه ضعف اتصال، لزوم سوراخ کردن قطعه کاراست که باعث ایجاد تمرکز تنش و نازک شدن قطعات می‌شود. برای رفع تمرکز تنش، تعداد لایه‌ها، ضخامت و وزن قطعه را بایستی افزایش داد که باعث از بین رفتن مزیت سبک بودن قطعات پلیمری می شود. علاوه بر آن، اتصال مکانیکی هزینه زیادی دارد. دراتصالات چسبی اگرچه نیاز به سوراخ‌کاری قطعات نیست، لذا دما، فشار، زمان و همچنین لزوم آماده‌سازی سطح برای اتصال باعث افزایش هزینه‌ها خواهد شد [2].

اتصال جوشی یک روش با کارایی بهتر برای انواع اتصالات است که با مدت زمان نسبی کمتر، اتصال قابل قبولی ایجاد می‌کند. از آنجا که پلیمرهای گرماسخت قابلیت جوشکاری ندارند، لذا از یک لایه واسط گرمانرم برای ایجاد قابلیت جوشکاری در میان قطعات گرما سخت استفاده می‌شود. اتصال جوشی براساس ذوب شدن و یا نرم شدن مواد واسط گرمانرم با افزایش دما انجام می‌گیرد. از این رو روش‌های زیادی برای اتصال جوشکاری قطعات پلیمری زمینه گرما نرم مانند روش فراصوتی، لیزر، القایی، اغتشاشی، گاز داغ و مقاومتی وجود دارند [3].

دستگاه جوشکاری فراصوتی شامل قسمت‌های مختلفی از جمله منبع تغذیه که تولید جریان با فرکانس مناسب را برعهده دارد، ترانسدیوسر، تقویت کننده و هورن وهمچنین بدنه اصلی دستگاه می‌باشد. منبع تولید برق، جریان معمولی را تبدیل به جریانی با فرکانس 20 کیلوهرتز می‌کند.[4] این جریان با فرکانس مورد نظر به یک ترانسدیوسر فراصوتی که شامل پیزو الکتریک است اعمال می‌شود، که باعث ارتعاش شده و این ارتعاش از طریق بوستر به هورن که از قبل طراحی و مناسب اندازه سطح قطعه است انتقال پیدا می‌کند. اصطکاک ایجاد شده بین دوقطعه، باعث تولید گرما می‌شود که با بالارفتن دمای دو قطعه، ذوب در آن منطقه اتفاق می‌افتد که باعث می‌شود دو قطعه اتصال، به داخل هم فرو روند و یکی شوند و اتصال نهایی برقرار شود [5]. در زمینه ایجاد قابلیت جوشکاری در پلیمرهای گرماسخت فعالیت‌های مختلفی انجام شده است. پتن و همکاران [6] با هم پخت کردن یک لایه نازک به اجزای اتصال اپوکسی، قابلیت جوشکاری داده‌اند. آن‌ها به این نتیجه رسیده‌اند که بین اپوکسی‌ها و گرمانرم‌ها شبکه‌های پلیمری تشکیل شده است. سپس با روش جوشکاری پرسی آن‌ها را جوشکاری کرده‌اند و به استحکامی دست یافته‌اند که بالاتر از نمونه‌های چسبی است. شیلر و همکاران [7] برروی اتصال نمونه‌های اپوکسی تقویت شده با الیاف کربن با روش جوشکاری القایی کارکرده اند. آن‌ها ابتدا اثر دما را بر روی خود نمونه اپوکسی تقویت شده بررسی کردند که نشان داده شد که نمونه‌های اپوکسی تا دمای 250 درجه سانتی‌گراد مشکلی به وجود نمی‌آید و جدایش از دمای 300 درجه سانتی‌گراد شروع می‌شود و در دمای 450 درجه سانتی‌گراد تمام اپوکسی تخریب خواهد شد. بعد از انجام تست‌ها آن‌ها متوجه شدند که بالاترین دمای تحمل گرما سخت، بالاترین استحکام

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-11-30]

[DOR: 20.1001.1.2476583.1400.7.1.9.0]

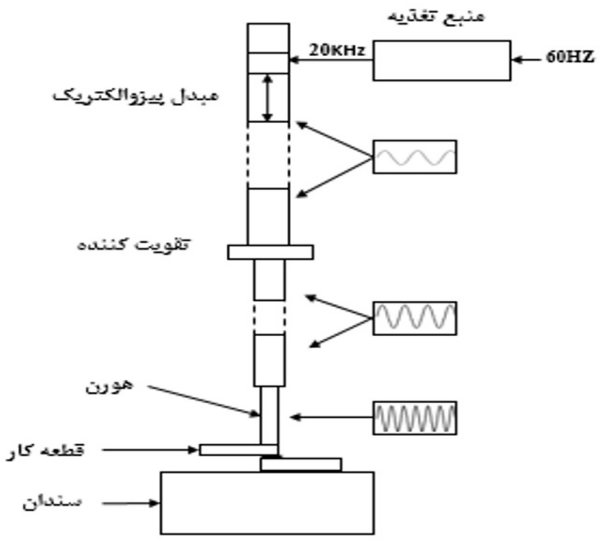
را نتیجه می‌دهد و نتیجه گرفتند که استفاده از ماده گرما سخت با تحمل حرارتی بیشتر است می تواند استحکام بالاتری را در جوشکاری القایی ایجاد کند. ویلگاس و همکاران[8] بر روی جوش نمونه‌های اپوکسی تقویت شده با الیاف کربن کار کردند. جوشکاری به صورت دو حالت تک لایه هادی انرژی و لایه هم پخت شده و دیگری فقط با وجود یک لایه هادی انجام شد. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که تخریب گرمایی اپوکسی بوده است.

جونگ و همکارانش[9] با استفاده از روش استحکام لب به لب بر روی نمونه‌های پلیمری پلی پروپیلن تقویت شده با الیاف شیشه کار کردند که آن‌ها این نمونه‌ها را در دو سطح %(10-30) که به روش جوشکاری فراصوتی اتصال یافته بودند، به طور تجربی بررسی کردند. فاکتورهای موثر اصلی به ترتیب فشار جوشکاری، زمان جوشکاری، شکل هدایت کننده انرژی ودامنه ارتعاش می‌باشد. کم‌ترین استحکام در کامپوزیت با ٪10 شیشه بدست آمد، که به طور کلی پارامترهای بهینه عبارتند از: دامنه40 میکرون، فشارجوشکاری2بار، زمان جوشکاری 0/33 و زمان نگهداری 15/ 0ثانیه.

بیل و همکاران [10] بر روی اتصال پلیمرهای پلی آمید تقویت شده با الیاف کربن را به ورقه‌های آلومینیمی 2024 مورد مطالعه و بررسی قرار دادند. در این مطالعه تجربی، میزان اثر واکنش رفتارهای متفاوت گرمایی بر روی خواص مکانیکی و میکروساختاری اتصال بررسی شد.

نیکوی و همکاران[11] با روش طراحی آزمایش، استحکام اتصال نمونه‌ها به صورت لب به لب روی هم نمونه‌های پلیمری پلی پروپیلن تقویت شده با الیاف شیشه را که به روش جوشکاری فراصوتی اتصال یافته بودند، به طور تجربی بررسی کردند. نتایج تحقیقات نشان داد که دامنه، مقدار الیاف شیشه، زمان جوشکاری و فشارجوشکاری به ترتیب بیشترین تاثیر را بر استحکام جوش این نوع پلیمر دارند. همچنین کمترین مقدار برای استحکام کششی، در دامنه ارتعاش31/66 میکرون، زمان جوشکاری 4/ 0ثانیه، فشار نگهداری1/5بار و مقدار الیاف شیشه بدست آمد. کمترین مقدار استحکام کششی با انتخاب مناسب پارامترهای فرایند، 2341 نیوتن تخمین زده شد.

در تمامی تحقیقات انجام شده، محدودیت بزرگ اتصال جوشکاری عدم نفوذ کامل لایه گرمانرم در بین الیاف قطعات تحت اتصال است که موجب کاهش استحکام می‌گردد. در بسیاری از تحقیقات هم یک لایه گرمانرم در زمان ساخت به لایه گرماسخت هم‌پخت شده است که موجب افزایش زمان وهزینه نهایی و از بین رفتن مزیت یک مرحله‌ای بودن عملیات جوشکاری می‌گردد.



شکل1- شمای دستگاه جوشکاری فراصوتی.

در این مقاله برای حذف محدودیت‌های ذکر شده در ایجاد اتصال جوشکاری بین نمونه‌های پلیمری گرما سخت تقویت شده از روش آماده‌سازی سطحی با کمک پرتو لیزر استفاده شده است. برای اتصال و کیفیت بهتر از یک هورن مستطیل شکل در جوشکاری فراصوتی استفاده شده که تمام سطح را می‌پوشاند و عملیات جوش را در یک مرحله انجام می‌دهد. اهداف اصلی افزایش استحکام سطحی پلیمرهای گرماسخت و همچنین معرفی رویکردهای عملی مناسب نظیراستفاده ازمواد واسطه مناسب جهت بالابردن استحکام قطعات و فرایندهای آماده‌سازی سطحی به عنوان تکنیک‌های ساخت مقرون به صرفه برای مونتاژ سریع ساختارهای پلیمر گرما سخت‌های تقویت شده

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-11-30]
[DOR: 20.1001.1.2476583.1400.7.1.9.0]

است.

2- روش تحقیق

پلیمرهای گرماسخت تقویت شده به طور معمول قابلیت جوشکاری ندارند. لکن با استفاده از مواد واسطه گرمانرم و جوشکاری فراصوتی این قابلیت را در این مواد می‌توان ایجاد نمود. مهمترین خاصیت جوشکاری فراصوتی سرعت بالای آن است و ویژگی دیگر آن هم تمرکز تولید گرما در فصل مشترک است که برای جوشکاری گرماسخت‌ها بسیار مطلوب خواهدبود. در شکل (1) شمایی از یک دستگاه جوشکاری فراصوتی قابل مشاهده است.

برای بهبود استحکام پلیمرهای گرماسخت تقویت شده از آماده‌سازی سطح با لیزر استفاده شده است. آماده سازی سطح با لیزر، ایجاد الگوهای مناسب بر سطح قطعه کار می‌باشند که مقدار نفوذ مواد واسطه در قطعات را افزایش داده و واستحکام کششی را گسترش می‌دهد. لذا در این مقاله با طراحی و اجرای این الگوهای سطحی، استحکام اتصال بهبود یافته است.

2-1- آماده سازی نمونه‌ها

برای ساخت نمونه‌ها از دو محلول مایع رزین اپوکسی و هاردنر 2021 که در دمای محیط مستحکم می‌شوند استفاده شده است. طبق پیشنهاد شرکت سازنده نسبت رزین به هاردنر 100 به 55 گرم می‌باشد. برای تهیه نمونه‌های کامپوزیتی از الیاف شیشه نوع E که به صورت پارچه‌ای و دارای بافت دو بعدی با خواص طولی و عرضی یکسان است، باچگالی سطحی 200 g/m^2 استفاده شده است. در ابتدا نمونه‌ها با ضخامت 1/5 میلی‌متر با تعداد 8 لایه‌گذاری می‌شود و مقدار الیاف مورد نیاز بریده و با توجه به آن، مقدار رزین می‌شود. به منظور ایجاد ضخامت یکسان و خواص برابر، نمونه‌ها یکجا ساخته می‌شوند. برای این منظور از یک قالب فولادی به اندازه 25در30سانتی‌متر استفاده شده که جهت جلوگیری از چسبیدن رزین به قالب از یک ورق نازک تفلونی در زیر و روی کار استفاده می‌شود. سپس به وسیله لایه چینی دستی ساخت کامپوزیت‌ها انجام می‌گیرد، بعد از آن به مدت یک روز تحت فشار قرار گرفته تا صافی سطح مناسب و توزیع یکنواخت ماتریس و ضخامت یکسان در تمام سطح کامپوزیت ایجاد شود. در نهایت، سپس بعد از آماده شدن قطعات، نمونه‌هایی در اندازه 25×100 میلی‌متربریده شدند. در شکل (2) ساخت نمونه‌ها قابل مشاهده می‌باشد.



شکل2- ساخت نمونه‌های پلیمری گرماسخت تقویت شده با الیاف شیشه.

2-2- آماده سازی سطح

برای اتصال جوشکاری پلیمرهای گرماسخت تقویت شده می‌توان از دو روش هم‌پخت کردن و آماده سازی سطح استفاده کرد. در روش هم پخت کردن از انواع روش‌های حرارت‌دهی اصطکاکی، حرارت‌دهی الکترومغناطیسی، گرمادهی حجمی و تکنیک‌های دو مرحله ای استفاده نمود. در مقابل در روش آماده سازی سطح از فرسایش پرتو لیزر، پولیش دستی، سایش مکانیکی، حرکت ارتعاشی و اچ شیمیایی کردن روش‌هایی می‌باشد که قابل‌استفاده می‌باشد. هدف از آماده‌سازی سطح از بین بردن اپوکسی جهت نفوذ مواد واسطه در قطعه، و در نتیجه آن بالا بردن استحکام کششی و افزایش مقاومت قطعات می‌باشد.

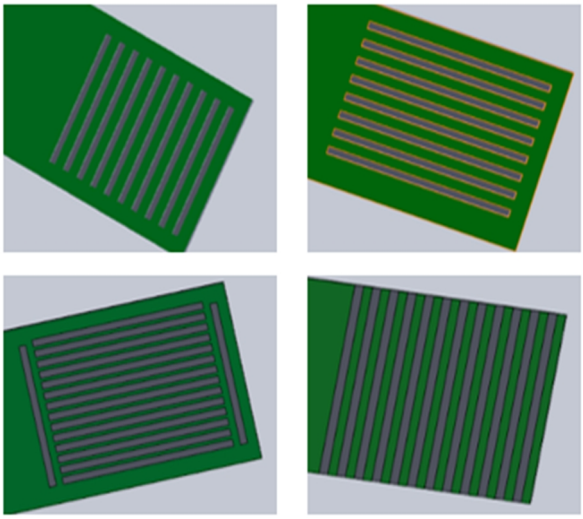
در این مقاله آماده‌سازی سطح قطعات با استفاده از روش فرسایش پرتو لیزر انجام شده است، این روش با استفاده از انرژی لیزر که در سطح قطعه کار متمرکز می‌شود بهره می‌برد. انرژی کاملا متمرکز شده و با چگالی بالا، بخش‌هایی از قطعه

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-11-30]

[DOR: 20.1001.1.2476583.1400.7.1.9.0]

را به شیوه‌ای کنترل شده ذوب و تبخیر می‌کند. این فرایند که نیازی به خلا ندارد برای ایجاد اشکال مختلف بر روی سطوح استفاده شده است.

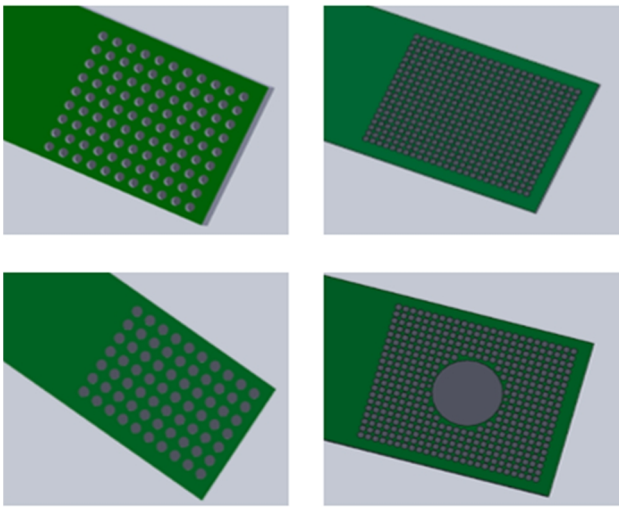
تمامی قطعات بعد از ساخت در اندازه‌های استاندارد برش داده شد. سپس آماده سازی سطح بر روی آن‌ها انجام گرفت. برای طراحی الگوهای لیزر خطی از نرم‌افزار سالیدورک استفاده شد، قطعات به صورت‌های که در شکل‌های (3 و4) قابل مشاهده است.



شکل3- سطوح لیزرشده با الگوی شیاردار.

برای انتخاب نوع شکل‌های سطوح با توجه به طول و عرض قطعات سعی شد طراحی به گونه‌ای باشد که بیشتر فضای سطح را پوشش دهد. به همین خاطر یک سطح به صورت شیار دار در زوایای مختلف که در شکل(3) مشخص است استفاده شد. عمق تمامی شیارها 1 میلی‌متر می‌باشد. شیار دار بودن باعث می‌شود هنگام ذوب، مواد واسطه در زمان جوشکاری امکان قرارگرفتن بیشتر ماده را داشته باشد. انتخاب این نوع شکل‌ها برای شیار با توجه به میزان قدرت لیزر و نسوختن لبه‌های نمونه‌ها با کم‌ترین فاصله ممکن نسبت به هم طراحی شده‌اند.

سطح برخی نمونه‌ها که با الگوی دایره لیزر شده با توجه به امکان ایجاد سایزهای مختلف باعث ایجاد شکل‌های بیشتری وجود داشت. در همین راستا دایره‌ها با قطرهای 0/5،1، 1/5 و2 میلی‌متر طراحی شدند و تمامی عمق آن‌ها 1 میلی‌متر می‌باشد، که با توجه به میزان قدرت پرتو لیزر بتوان آن‌ها را ایجاد کرد.



شکل4- سطوح لیزر شده با الگوی دایره ای.

2-3- مواد واسطه

برای اتصال قطعات از مواد واسطه‌ای از جنس گرمانرم استفاده شده است. گرمانرم‌ها به‌خاطر ویژگی خاص که با افزایش دما بدون تغییر شیمیایی ذوب می‌شوند و این پلیمرها را می‌توان به دفعات ذوب و دوباره جامد نمود انتخاب شدند. گرمانرم‌ها در دمای بیش ازدمای انتقال شیشه‌ای خود، منعطف هستند. اغلب گرمانرم‌ها در دمای کمتر از نقطه ذوب خود حاوی مناطق بلورینی هستند که بین نواحی آمورف قرار دارند. نواحی آمورف، ویژگی کشسانی و نواحی بلورین، استحکام و صلبیت را به ماده می‌بخشند. از بین مواد گرمانرم از دو ماده پلی‌پروپلین و پلی‌متیل متاکریلات انتخاب شدند.

پلی پروپلین‌ها پلیمری با دانسیته تقریبی 0/9 گرم بر سانتی‌متر مکعب از پلیمریزه شدن منومر پروپیلن به دست می‌آید. این ماده در برابر رطوبت، روغن‌ها و حلال‌های معمولی مقاوم بوده و در دمای حدود 170 درجه سانتی‌گراد ذوب می‌گردد. این ماده غیرسمی و بی‌بو در هنگام سوختن همانند شمع به قطرات ذوب شده واکس مانند تبدیل شده و با شعله‌ای بدون دود و بویی کمی زننده می‌سوزد. مقاومت در برابرکشش، چگالی کم، بی‌رنگی، سختی، مقاومت دربرابر اسید، باز وحلال‌ها وهزینه تولید کم از جمله ویژگی‌های پلی پروپیلن محسوب می‌شود.

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-11-30]

[DOR: 20.1001.1.2476583.1400.7.1.9.0]

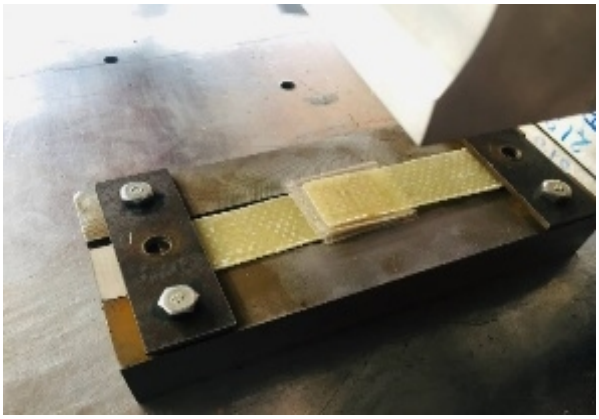
این ماده واسطه در زمان استفاده برای جوشکاری از 5 لایه بر روی هم که ضخامت 2 میلی‌متری به وجود آمده بود استفاده شده است.

پلی متیل متاکریلات دومین ماده واسطه مورد استفاده در این مقاله است. این گرمانرم خواص مقاوم در برابر آب و هوا، بسیار عالی را نشان می‌دهند یعنی وقتی در معرض تماس با شرایط جوی قرار می‌گیرند، مقاومت بالایی دارند و در برابرهوازدگی و شرایط محیطی (دما، فشارو رطوبت یا بخار آب) بسیار مقاوم می‌باشند. سختی سطح عالی، قابلیت تحمل عالی در برابر شرایط آب و هوایی گوناگون، مقاومت عالی در برابر هوازدگی و شرایط جوی، مقاومت بالا در برابر نور خورشید، صلب و انعطاف ناپذیر همراه با استحکام ضربه‌ای خوب، پایداری ابعادی عالی و کاهش حجم و انقباض درون قالبی پایین و شکل‌دهی گرمایی آن‌ها با چقرمگی دومحوری، یا دوبعدی، افزایش می یابد از دیگر مزایای این ماده است. جنس این ماده شفاف و سخت است از ضخامت 1 میلی‌متری دارا می‌باشد که با گذاشتن تنها یک لایه از آن جهت جوشکاری استفاده شده است.

3- فرایندجوشکاری

برای عملیات جوشکاری از یک دستگاه جوش فراصوتی با فرکانس 20 کیلوهرتز وقدرت 2600وات استفاده شده است که از یک منبع تغذیه دیجیتالی که تمامی اطلاعات عملیات جوشکاری را برعهده داشت استفاده شده است. دامنه ارتعاش دستگاه جوشکاری فراصوتی استفاده شده حدود 25 میکرون است و در این آزمایش از هورن مستطیل شکل که سطح آن بدون آج بوده است استفاده شد که تمامی سطوح قطعه را می‌پوشاند.

برای انجام جوشکاری فراصوتی قطعات که طبق استاندارد ای اس‌تی ام دی 5868 به ابعاد 25در 100 میلی‌متر و با ضخامت 1/5 میلی‌متر بریده شده اند، از یک فیکسچر به شکل زیر که ازقبل طراحی و ساخته شده است استفاده شده است. فیکسچر به منظور نگهداری قطعه کار در موقعیت مشخص استفاده می‌گردد. به عبارتی وسیله‌ای است که قطعه کار در آن قرار می‌گیرد تا آماده جوشکاری شود. فیکسچر مورد استفاده در شکل(5) قابل مشاهده می‌باشد.



شکل5- یک نمونه از قطعات درون فیکسچر.

4- آزمون استحکام اتصالات

تمامی نمونه‌های جوشکاری شده بعد از آماده‌سازی سطح، تنظیم پارامترها و اتمام جوشکاری برای انجام تست استحکام کششی توسط دستگاه کشش با ظرفیت 2 تن مورد ارزیابی قرار گرفتند.

4-1- طراحی آزمایش ونتایج حاصله

به طور کلی در طراحی آزمایش چهار فاز عملیاتی وجود دارد که شامل مراحل ساخت نمونه، آماده سازی سطح، جوشکاری و تست استحکام کششی است. در طراحی آزمایش در مرحله ساخت نمونه‌ها تمامی قطعات در اندازه 1/5 میلی‌متری ساخته و در اندازه‌های استاندارد برش داده شدند. در مرحله بعد از ساخت نمونه که آماده سازی سطحی قطعات ساخته شده بود، اشکال مورد نیاز بر روی قطعات با نرم‌افزار سالیدورک طراحی گردیدندو سپس این اشکال که با دوصورت دایره ای و شیار دار طراحی شده بودند توسط پرتو لیزر آماده سازی سطحی شدند. در مرحله سوم انجام عملیات جوشکاری توسط دستگاه جوش فراصوتی انجام شد.

جوشکاری با وارد کردن سه فاکتور فشار، زمان جوشکاری و زمان نگهداری به همراه ابتدا و انتهای بازه تغییرات هرکدام، طراحی آزمایش انجام گرفت که به طور خلاصه می‌توان به اطلاعات جدول(1) اشاره کرد. فشار جوشکاری برحسب بار،

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-11-30]

[DOR: 20.1001.1.2476583.1400.7.1.9.0]

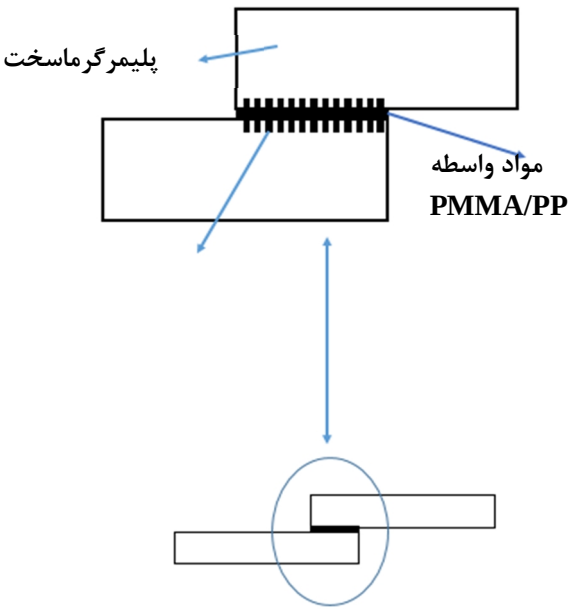
زمان جوشکاری بر حسب ثانیه و زمان نگهداری نیز برحسب ثانیه می‌باشد. انجام جوشکاری با طراحی آزمایش بر روی قطعاتی که ابعاد آن‌ها، اندازه‌های استاندارد آماده شده بودند، مطابق با جدول و به‌طور مرتب انجام شدند تا از بروز خطای سیستمی جلوگیری شود. برای بدست آوردن نتایج علمی از تاثیر پارامترها بر جوش به شکل ظاهری نمونه‌ها اکتفا نکرده و نمونه‌ها برای بررسی خواص مکانیکی مورد تست قرار گرفتند. بدین منظور برای همه نمونه‌هایی که با هر دو ماده واسطه جوش داده شدند، آزمایش استحکام کشش انجام گرفت. در انتخاب پارامترهای مورد استفاده در جدول، در ابتدا آزمایش‌های نمونه‌ای روی قطعات متعددی انجام شد تا حدود پارامترها برای جوش پذیر بودن قطعات استخراج گردد. در این راستا و براساس تجربه ایجاد شده و همچنین قابلیت‌های دستگاه جوش آلتراسونیک مورد استفاده در این مقاله، زمان نگهداری، زمان جوش و فشار دستگاه انتخاب و در جدول اعمال شد. گام آخر آزمایش تست کشش نمونه‌های جوشکاری شده است، آزمایش‌های دردمای اتاق و با سرعت کشش 2میلی‌متر توسط دستگاه تست کشش تک محوره صورت گرفت.

جدول طراحی براساس مقایسه استحکام کششی قطعات دارای سطح ساده با نمونه‌های آماده سازی سطح با لیزر طراحی شده است. هدف از طراحی جدول، بدست آوردن و نتیجه‌گیری مناسب و مقایسه نمونه‌ها در سطح ساده و سطح لیزر شده با توجه به استفاده از دو نمونه مواد واسطه در تمامی قطعات و انتخاب یکسان تمامی پارامترهای جوشکاری می‌باشد تا مقاومت و قدرت چسبندگی نمونه‌ها به صورت برابر بررسی گردد. هدف از انتخاب اشکال دایره و شیار کم کردن فضای خالی بین طرح‌ها که مواد واسطه نفوذ بیشتری در قطعه داشته باشند.

5- بررسی نتایج و بحث

نمونه‌ها با استفاده از پارامترهای عنوان شده یکسان در بخش طراحی آزمایش جوشکاری و سپس براساس ابعاد هندسی استاندارد بریده وتحت آزمون قرار گرفت. براساس تعداد پارامترهای درنظرگرفته شده و سطوح تغییرات آن‌ها در روش مورد استفاده در این مقاله تعداد 10 آزمایش در مرحله طراحی آزمایش لحاظ شد و جوشکاری بر روی آن‌ها انجام و آزمون استحکام کششی بر روی آن‌ها صورت گرفت.

بررسی نوع شکست در این اتصالات دو نکته مهم را بیان می‌کند. اول اینکه شکست در تمامی نمونه‌های جوشکاری شده از محل اتصال ماده واسطه با قطعات بوده است که نشان از ساخت مناسب قطعات و در هم پیچیدگی درست الیاف با رزین می باشد و دوم اینکه در قطعات لیزر شده، برخلاف قطعات ساده، ماده گرما نرم مذاب حین جوشکاری هیچ‌گونه بیرون راندگی ندارد و کامل در قطعات فرو می‌رود اما سطح ساده بدلیل نداشتن فضای خالی بعد از جوش ماده واسطه از بغل به بیرون راه پیدا می‌کند. در شکل (9) شماتیک پلیمرهای گرماسخت تقویت شده با الیاف شیشه با مواد واسطه گرمانرم قابل مشاهده است.

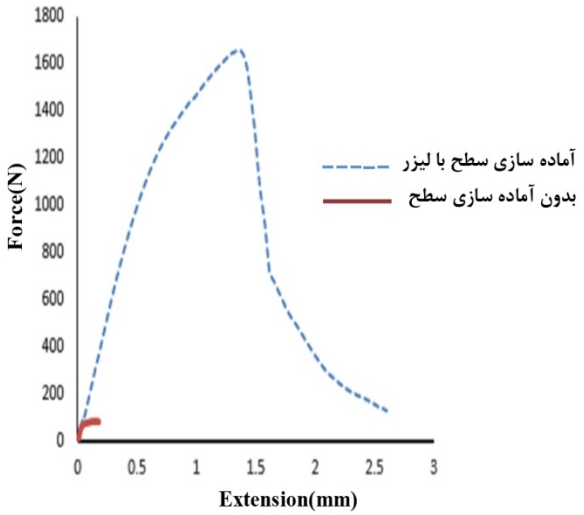


شکل6- نحوه اتصال قطعات.

در شکل(7) نمودار استحکام کششی قطعات با ماده واسطه پلی‌پروپلین مشاهده می‌شود و در شکل (8) نمودار استحکام کششی قطعات با ماده واسطه پلی متیل متاکریلات مشاهده می‌شود. نمودار شکل(7) کاملا بیانگر این است که چسبندگی قطعه ساده نسبت به قطعه آماده‌سازی سطحی از استحکام

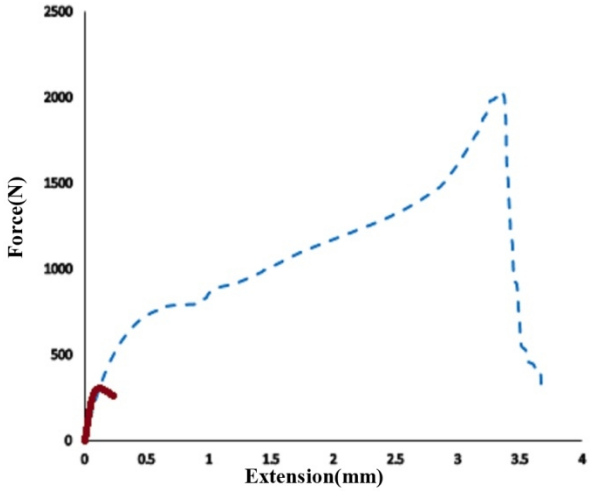
[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-11-30]
[DOR: 20.1001.1.2476583.1400.7.1.9.0]

بسیارکم‌تری برخوردار است. استحکام کششی قطعه ساده 81 نیوتن می‌باشد در حالی که قطعه آماده سازی شده سطح با لیزر 1655 نیوتن تحمل بار کششی از خود نشان داده است. این نمودار به خوبی نشان می‌دهد که قطعه‌ای با ایجاد اشکال بر روی سطح آن در مقایسه با قطعه ساده باعث نفوذ پذیری بیشتر ماده واسطه در خود شده و همین امر باعث مقاومت بیشتر قطعه نسبت به قطعات ساده می باشد. قطعات ساده به دلیل سطح یکنواخت، در هنگام جوشکاری ماده واسطه بعد از ذوب شدن به کناره‌های قطعات انتقال پیدا می کند و میزان کمی بین دو قطعه بر روی سطح نفوذ پیدا می‌کند که باعث چسبندگی کمتر قطعات می‌شود. با آماده سازی سطح بر روی قطعه می توان باعث مقاومت وقدرت چسبندگی بیشتر پلیمرهای گرما سخت تقویت شده الیاف شیشه شد.



شکل7- نمودار استحکام کششی قطعات با ماده واسطه پلی پروپلین.

در دیگر نمودار که در شکل شماره(8) قابل مشاهده است، قطعه کارهای بدون آماده سازی سطح و قطعه کار آماده سازی سطح شده توسط پرتو لیزر را نشان می‌دهد که با ماده واسطه پلی متیل متاکریلات به همدیگر جوش خورده‌اند. در این نمودار برتری قدرت استحکام کششی نمونه لیزر شده نسبت به ساده به وضوح قابل مشاهده است و در مقایسه با دیگر ماده واسطه هم از میزان تحمل کشش بالاتری برخوردار است. که این خود بیانگر این است علاوه بر آماده‌سازی سطح ماده واسطه چه میزان تاثیر فراوانی در استحکام نمونه‌های پلیمری گرماسخت تقویت شده الیاف شیشه خواهند داشت. در این نمودار تحمل استحکام کششی قطعه ساده 346 نیوتن می‌باشد در حالی که قطعه آماده سازی شده سطح با لیزر2021 نیوتن تحمل بار کششی از خود نشان داده است. همانگونه که در بخش طراحی آزمایش بیان شد،10 آزمایش در طراحی آزمایش لحاظ شد که تعدادی از آن‌ها با سطح ساده و بقیه آماده‌سازی سطح شده‌اند. جوشکاری بر روی تمامی قطعات انجام و آزمون استحکام کششی بر روی آن‌ها انجام گرفت که نتیجه این فعالیت‌ها در جدول شماره (1) نشان داده شده است.



شکل8-نمودار استحکام کششی قطعات باماده واسطه پلی متیل متاکریلات

نتیجه‌ها نشان از آن است که آماده سازی سطح و استفاده از ماده واسطه مناسب تاثیر بسزایی در استحکام کششی قطعات دارد. در این تحقیق به خوبی نشان داده شده است که قطعات ساده در مقابل قطعات آماده سازی سطح که با پرتو لیزر می‌باشد از استحکام و قدرت کششی کم‌تری برخوردار می‌باشند.

حداقل استحکام قطعات آماده‌سازی سطحی در مقایسه با حداکثر استحکام قطعات ساده از مقاومت بیشتری برخوردارند. درآماده‌سازی سطح از دو نوع شکل استفاده شده است، که اشکال دایره‌ای نسبت به شیار دار با توجه به پوشش بیشتر سطح قطعات از قدرت چسبندگی بیشتری برخوردار بودند، که این خود نشان از اهمیت بالای آماده سازی سطح می‌باشد که باعث افزایش و مقاومت قطعات گردیدند. ایجاد اشکال شیاردار در مقایسه با سطح‌ساده نیز ازقدرت‌چسبندگی بیشتری برخوردار

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-11-30]
[DOR: 20.1001.1.2476583.1400.7.1.9.0]

جدول 1- طراحی آزمایش جوشکاری فراصوتی پلیمرهای تقویت شده با الیاف شیشه.

آزمایش	آماده سازی سطح	فشار (BAR)	زمان جوشکاری (S)	زمان نگهداری (S)	استحکام برشی سطح(N)	استحکام برشی سطح(MPA)
1	ساده	2	1/6	3	67	2/62
2	ساده	2	1/6	3	81	3/16
3	ساده	2	1/6	3	49	1/91
4	ساده	2	1/6	3	133	5/20
5	ساده	2	1/6	3	346	13/54
6	شیار	2	1/6	3	1529	58/34
7	شیار	2	1/6	3	1286	50/17
8	دایره	2	1/6	3	1655	62/91
9	دایره	2	1/6	3	2021	78/80
10	دایره	2	1/6	3	1628	61/83

می‌باشند. استفاده از آماده‌سازی سطح در نمونه خود باعث مقاومت بیشتر قطعات در مقابل استحکام کششی شده است. لذا می‌توان با روش پیشنهادی در الگوهای جدید و تغییر در مواد واسطه اتصال مناسبی را پیشنهاد نمود.

به دلیل نفوذ لایه نازک گرمانرم‌ها در عمق ایجاد شده بر روی سطح و فضاهای خالی بین الگوها اتصال قوی‌تری را ایجاد کردند.

6- نتیجه‌گیری

در این مقاله تاثیر پارامترهای نمونه‌های با سطح ساده و سطح آماده‌سازی شده توسط لیزر در استحکام اتصال جوشکاری فراصوتی در کامپوزیت‌های گرماسخت تقویت شده با الیاف شیشه بررسی شد. در این پژوهش کامپوزیت‌ها از اپوکسی / شیشه ساخته و توسط دو ماده گرما نرم به عنوان مواد واسطه به هم متصل شدند و با آزمایش استحکام برشی تحت کشش قرار داده شدند. نتایج حاصل نشان می‌دهد که:

- در نمونه‌های جوشکاری فراصوتی مورد توجه در این مقاله، زمان 1/6 بیشتر موجب تخریب گرمایی زمینه اپوکسی می‌شود.

- آماده سازی سطحی با پرتو لیزر زبری سطح را به نوعی افزایش می‌دهد و باعث افزایش قابل ملاحظه‌ای تحمل استحکام کشش اتصال نسبت به سطح ساده شده است.

- پارامترهای زمان ودمادر استحکام نهایی اتصال تاثیرگذار است.،پارامترهای نیرو وفشاردر این نمونه‌های انجام شده در این مقاله غیرتاثیرگذار است.

- براساس نتایج الگوی سطح حکاکی شده به دلیل ایجاد عمق بر روی سطح بر استحکام اتصال تاثیر می‌گذارد به طوری‌که در قطعات آماده سازی سطح کمترین استحکام مربوط به سطح شیاردار برابر 1286 نیوتن است. در حالی‌که بیشترین استحکام سطح ساده 346 نیوتن است.

- ضخامت قطعه کامپوزیتی تاثیر مهمی در استحکام اتصال جوشکاری فراصوتی دارد.

- آماده‌سازی سطح بر روی قطعه، باعث مقاومت بیشتر قطعه در مقابل بار کششی و قدرت چسبندگی بیشتر پلیمرهای گرما سخت تقویت شده الیاف شیشه باشد.

منابع

1- Amend, P., T. Frick, and M. Schmidt. "Experimental studies on laser-based hot-melt bonding of thermosetting

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-11-30]

[DOR: 20.1001.1.2476583.1400.7.1.9.0]

ICCM, 2015.
9- Liu, Shih Jung, I Ta Chang, and Shiu Wan Hung. "Factors affecting the joint strength of ultrasonically welded polypropylene composites." Polymer Composites 22.1 (2001): 132-141.
10- Löbel, Thomas, et al. "A hybrid bondline concept for bonded composite joints." International Journal of Adhesion and Adhesives 68 (2016): 229-238.
11- Nikoyi.Reza, et al. "Experimental analysis of effects of ultrasonic welding on weld strength of polypropylene composite samples." International Journal of Engineering 28.3 (2015): 447-453.
12- Villegas, Irene Fernandez, and Pablo Vizcaino Rubio. "On avoiding thermal degradation during welding of high-performance thermoplastic composites to thermoset composites." Composites Part A: Applied Science and Manufacturing 77 (2015): 172-180.
13- Amend, P., T. Frick, and M. Schmidt. "Experimental studies on laser-based hot-melt bonding of thermosetting composites and thermoplastics", Physics procedia 12 (2011): 166-173.
14- Hou, Meng, Andrew Beehag, and Qiang Yuan. "Welding techniques for polymer or polymer composite components." U.S. Patent No. 8,790,486. 29 Jul. 2014.
15- Dehaghani, R. Chitsaz, M. M. Shokrieh, and F. Taheri-Behrooz. "An investigation on effects of acid etching duration on adhesive bonding of polyethylene to E-glass/epoxy composites." International Journal of Adhesion and Adhesives 85 (2018): 177-183.
composites and thermoplastics." Physics procedia 12 (2011): 166-173.
2- Hou, Meng. "Thermoplastic adhesive for thermosetting composites." Materials Science Forum. Vol. 706. Trans Tech Publications Ltd, 2012.
3- C. Ageorges, L. Ye, M. Hou, Advances in fusionbonding techniques for joining thermoplastic matrix composites: a review, Composites Part A: AppliedScience and Manufacturing, Vol. 32, No. 6, pp. 839-857, 2001/06/01/, 2001.
4- Charlson, Paul M., Clarence R. Schwieters, and Jun H. Souk. "Laser joining of thermoplastic and thermosetting materials." U.S. Patent No. 4,414,166. 8 Nov. 1983.
5- Parmar, Umang, and D. H. Pandya. "Experimental investigation of ultrasonic welding on non-metallic material." Procedia Technology 23 (2016): 551-557.
6- Deng, Shiqiang, et al. "Thermoplastic–epoxy interactions and their potential applications in joining composite structures–A review." Composites Part A: Applied Science and Manufacturing 68 (2015): 121-132.
7- Schieler, Oliver, and Uwe Beier. "Induction welding of hybrid thermoplastic-thermoset composite parts." Applied Science and Engineering Progress 9.1 (2016): 27-36.
8- Fernandez Villegas, I., and P. Vizcaino Rubio. "High-temperature hybrid welding of thermoplastic (CF/Peek) to thermoset (CF/Epoxy) composites." ICCM 20: 20th International Conference on Composite Materials, Copenhagen, Denmark, 19-24 July 2015.

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-11-30]

[DOR: 20.1001.1.2476583.1400.7.1.9.0]