E-ISSN: 2676-6787 | P-ISSN: 2476-583X

Journal of
Welding Science and Technology of Iran
jwsti.iut.ac.ir

Volume 8, Number 1, 2022



Investigation of the effect of surface preparation on the quality of adhesive bonds of thermoset polymers reinforced with glass fibers

H. Tirband, D. Akbari, M. Sadeh

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

Received 29 May 2022 ; Accepted 10 August 2022

Abstract

Todays, application of composite materials has been increased in various industries due to their special strength properties and also other unique features. One of the important things during making of such materials, is their connection to each other. In this article, the Joining of heat-hardened parts with surface preparation with the help of laser, simple and rough, has been investigated. The main goal is to investigate the better surface adhesion mechanisms of the connection compared to the simple surface, as well as to create practical approaches to increase the adhesion strength of the thermosetting parts. The composites were made of heat-hardened epoxy resin (which hardens after 12 hours at room temperature) and two-dimensional woven glass fibers and were connected by glue after volume heating at a temperature of 180-200 degree Celsius. In this research, the overlapping surface of the part was engraved by laser in circular patterns. The raw parts were prepared by manual polishing and mechanical abrasion. The results show that by examining the effect of surface roughness and composite thickness, the highest value of shear strength is related to the surface roughness compared to other preparation methods. Surface preparation increases the amount of adhesive penetration in the parts and expands the tensile strength. The thickness also has a conditional effect on the strength of the connection.

Keywords:Thermoset joints, Adhesive bond, Surface preparation, Tensile strength.

Corresponding Author: daakbari@modares.ac.ir

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.2476583.1401.8.1.7.5]

شاپا:2476-583X | شاپا الکترونیکی: 2676-6787

نشریه علوم و فناوری جوشکاری ایران

jwsti.iut.ac.ir

سال هشتم، شماره1، بهار و تابستان 1401



بررسی اثر آماده‌سازی سطح بر روی کیفیت اتصالات چسبی پلیمرهای گرماسخت تقویت شده با الیاف شیشه

حامد تیربند، داوداکبری*، میلاد ساده

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

دریافت مقاله: 1401/03/08 ؛ پذیرش مقاله: 1401/05/19

چکیده

امروزه استفاده از مواد مرکب به دلیل خواص ویژه استحکامی وهمچنین سایر ویژگی‌های منحصر به فرد در صنایع مختلف افزایش یافته است. یکی از موارد مهم در حین ساخت و مونتاژ این‌گونه مواد، اتصال آن‌ها به همدیگر می‌باشد. در این مقاله اتصال قطعات گرماسخت با آماده‌سازی سطحی به کمک پرتولیزر مورد بررسی قرار گرفته 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. کامپوزیت‌ها از رزین اپوکسی گرما سخت (که بعد از 12 ساعت در دمای محیط سخت می‌شوند) و از الیاف دو بعدی بافته شده شیشه ساخته و بعد از گرمادهی حجمی با دمای 180تا200درجه سانتی‌گراد توسط چسب متصل شدند. در این پژوهش سطح همپوشانی قطعه توسط لیزر در الگوهای دایره‌ای حکاکی شده و قطعات خام به صورت پولیش دستی و سایش مکانیکی آماده شدند. نتایج حاصل نشان می‌دهند که با بررسی اثر زبری سطح و ضخامت کامپوزیت بر استحکام اتصال، بیشترین مقدار استحکام برشی مربوط به سطح زبر در مقایسه با دیگر روش‌های آماده‌سازی است که در نمونه‌های مزبور، نیروی 450 نیوتن می‌باشد. آماده‌سازی سطح مقدار نفوذ چسب در قطعات را افزایش داده و استحکام کششی را گسترش می‌دهد.

کلمات کلیدی: اتصالات گرماسخت، اتصال چسبی، آماده‌سازی سطحی، استحکام برشی.

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

1- مقدمه

اتصال قطعات کامپوزیتی در صنعت به ویژه در صنعت هوا و فضا و خودرو پارامتر مهمی است. به طور کلی برای اتصال پلیمرهای تقویت شده با الیاف شیشه، سه روش عملیاتی وجود دارد: استفاده از اتصال چسبی، مکانیکی و جوشکاری [1] امروزه اتصالات چسبی به دلیل افزایش تقاضا برای اتصال اجزای مشابه یا غیرمشابه و به ویژه در چارچوب طراحی سازه‌های سبک بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. [2] اتصال مکانیکی در جاهایی‌که امکان باز شدن نیاز است، مناسب هستند اما معایب تمرکز تنش در مواد، پارگی و گسیختگی

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.2476583.1401.8.1.7.5]

در طول سوراخ‌کاری، تغییرات دمایی متفاوت کامپوزیت نسبت به بست‌ها، نفوذ آب به مفصل‌ها و خوردگی و افزایش وزن، افزایش تجهیزات و کارگر را دارد. چسب تقریباً نواقص بالا را ندارد و از قدیم استفاده می‌شود و بیشتر چسب‌ها از استخوان ماهی، شیر و گیاهان تولید می‌شدند. [3] بدلیل گسترش سریع علم شیمی در مواد پلیمری، چسب‌هایی با خواص بهتر و ارزان‌تر تولید شدند. امروز صنایع زیادی وجود دارند که از ساختارهای چسبی به ویژه در هوا و فضا استفاده می‌کنند در صنایع اتومبیل سازی نیز برای کاهش وزن استفاده می‌شوند. با استفاده از تکنیک‌های مدرن ارزیابی خواص مکانیکی، امکان ارزیابی اتصال چسبی ممکن شده است [4-1] لذا، چسب‌ها انتخاب مناسبی برای اتصال مواد کامپوزیت پلیمری هستند. دلیل اینکه رزین‌های استفاده شده در کامپوزیت‌ها نوعی چسب محسوب می‌شوند آن است که خواص آن‌ها از خیلی جهات مشابه چسب‌هاست. برای مثال، استفاده از چسب اپوکسی برای چسباندن کامپوزیت‌های بر پایه همان رزین، مصداق اتصال مواد یک جنس است. البته ممکن است اختلاف دمای پخت و برخی خواص دیگر وجود داشته باشد. چسب‌ها با قابلیت چسبندگی به سطوح در لایه‌ای به ضخامت حدود 1/0 نانومتر تا 0/5 نانومتر عمل می کنند. پدیده چسبندگی با نیروهای بین مولکولی که بین سطوح عمل می‌کنند، مطرح و شامل انرژی سطوح و کشش بین سطحی است. چسب‌ها هنگام استفاده باید به حالت مایع و تا حدودی روی سطح جریان داشته باشند تا قابلیت نفوذ در خلل و فرج سطح را پیدا کرده و در نتیجه بتواند پیوند مولکولی با سطح برقرار کند. [5] آماده‌سازی سطح نه فقط برای پاک کردن آلاینده‌ها، بلکه به جهت افزایش سطح تماس و نیز اصلاح شیمیایی سطوح به کار برده می‌شود. این مسئله به درگیری مکانیکی و همچنین برقرای پیوند شیمیایی یا فیزیکی کمک می‌کند. روش اصلی آماده‌سازی سطح کامپوزیت‌های پلیمری شامل چربی زدایی، سایش مکانیکی و استفاده از لایه جداشونده هستند. البته نتایج برخی از پژوهش‌ها نشان می‌دهند که ترکیبی از این روش‌ها برای افزایش چسبندگی موثرتر است. [6] از چسب‌های اپوکسی به عنوان چسب‌های دارای استحکام بالا یاد می‌شود. استحکام برشی این چسب‌ها می‌تواند از استحکام بین لایه‌ای کامپوزیت‌ها بیشتر باشد. چسب‌های اپوکسی معمولا دو جزئی هستند و ساختار تک جزیی آن‌ها نیز وجود دارد. برای چقرمه کردن چسب‌های اپوکسی روش‌های مختلفی وجود دارد به متداول‌ترین آن‌ها استفاده از ذرات لاستیک است. اپوکسی‌ها بسته به نوع فرمول‌بندی و نوع پرکننده استفاده شده در ترکیب چسب قابلیت پرکنندگی فاصله تا 10 میلی‌متر را دارند. [7]

ریچاردسون و همکاران [8] در زمینه تاثیر آماده‌سازی سطح بر روی استحکام کششی کامپوزیت‌های تقویت شده با الیاف شیشه در اتصالات چسبی بررسی مفصلی انجام دادند. در این مقاله آزمایش‌های کشش متعددی انجام پذیرفته تا بهینه‌ترین نوع آماده‌سازی سطح برای رسیدن به بیشترین مقدار استحکام کششی یافته شود که پیرو این آزمایش‌ها، اثر بخشی آماده‌سازی سطح از نگاه دراز مدت و دوام محیطی ارزیابی شد. آن‌ها مشاهده کردند که استحکام استاتیکی اتصال چسبی هنگام غوطه ور شدن در آب بسیار کاهش پیدا کرد.

به منظور بررسی دقیق‌تر، مولیتور وهمکاران [9] چندین روش آماده‌سازی سطح را به منظور افزایش استحکام اتصال مورد بررسی قرار دادند. این روش‌ها شامل افزایش نیروی کشش سطحی؛ افزایش زبری اتصال و ایجاد تغییرات شیمیایی درسطح اتصال است. پیرو آزمایش‌های انجام شده برای کامپوزیت‌های گرماسخت، روش‌های سنتی حذف آلایندگی مانند سایش و اعمال حلال بر روی سطح اتصال برای به عنوان روش‌های ابتدایی آماده‌سازی کافی است. اما در مورد کامپوزیت‌های گرمانرم برای ایجاد یک اتصال با استحکام مناسب و با دوام باید اصلاحات شیمیایی و تغییرات توپوگرافیک سطحی انجام شود.

موریس و همکاران [10]

نشان دادند که آماده‌سازی سطح یک پلیمر به وسیله پراکسی دی سولفات منجر به ایجاد یک نوع لایه خاص شاخه‌ای می‌شود که ایجاد این لایه باعث می‌شود مولکول‌های پلیمر به صورت مکانیکی نیز اتصال پیدا کرده و اتصال سطح را مستحکم‌تر کند.

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.2476583.1401.8.1.7.5]

سینازسکو و همکاران [11] اثرات کلی آماده‌سازی سطح، در مولفه‌های مختلف کامپوزیت‌ها را مورد مطالعه قرار دادند. در این مقاله آن‌ها مطالعه ای را برای مقایسه روش‌های مختلف آماده‌سازی سطح مورد استفاده در اتصال چسبی کامپوزیت انجام داده‌اند و از روش آزمون کشش برای نشان دادن کارایی آماده‌سازی سطح مورد استفاده بهره بردند.در پژوهشی، عسگری و همکاران [12] به بررسی تجربی و عددی شکست محل اتصال تک لبه کامپوزیت‌ها پرداختند. در تمامی تحقیقات انجام شده، آماده‌سازی سطح موجب افزایش سطح تماس و نیز اصلاح شیمیایی گردید که در استحکام و قدرت چسبندگی نمونه‌ها تاثیر فراوان دارد. همچنین در بسیاری از تحقیقات، از چسب‌های اپوکسی به عنوان چسب‌های دارای استحکام بالا یاد می‌شود. استحکام برشی این چسب‌ها می‌تواند از استحکام بین لایه‌ای کامپوزیت‌ها نیز بیشتر باشد. در این مقاله برای ایجاد اتصال چسبی بین نمونه‌های پلیمری گرما سخت تقویت شده، از روش آماده‌سازی سطحی با کمک پرتو لیزر، پولیش دستی و سایش مکانیکی استفاده شده است. برای اتصال و کیفیت بهتر از اپوکسی و هاردنر استفاده شده در ساخت نمونه‌ها به عنوان چسب استفاده شده است. اهداف اصلی افزایش استحکام سطحی پلیمرهای گرماسخت و همچنین معرفی فرایندهای آماده‌سازی سطحی مناسب جهت بالابردن استحکام قطعات و به عنوان تکنیک‌های ساخت مقرون به صرفه برای مونتاژ سریع ساختارهای پلیمر گرماسخت‌های تقویت شده است.

2- روش تحقیق

مطالعه و طراحی اتصال موثر در آسیب یک ساختار بزرگ از جایی‌که قطعات مختلف به هم متصل شدند امری مهم تلقی می‌شود. اتصال چسبی یک فناوری کلیدی در بسیاری از بخش‌های صنعتی از جمله صنایع خودرو و هوافضا است. اهداف اصلی درک روش‌های ممکن استحکام کشش سطحی بین پلیمرهای گرماسخت شده‌ای هست که با سطح ساده و زبر و لیزر شده به هم اتصال پیدا کرده‌اند. آماده‌سازی سطح شامل ایجاد الگوهای مناسب برروی 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- آماده‌سازی نمونه‌ها

در این مقاله، ماتریس از نوع رزین اپوکسی به نام اختصاری 2021 استفاده شده است. این پلیمر در دمای محیط و بعد از مدت زمان 12 ساعت به سختی مطلوب می‌رسد. به عنوان پایه اپوکسی، از سفت‌کننده هاردنر شفاف برای این رزین استفاده شده است. نسبت مخلوط رزین به سفت کننده طبق پیشنهاد شرکت سازنده 100به 55 گرم است. برای تهیه ماده کامپوزیتی از الیاف شیشه نوع E که دارای بافت دو بعدی با خواص طولی و عرضی یکسان و با چگالی سطحی $200\ g/m^2$ است، استفاده شده است. ابتدا اندازه نمونه‌ها و تعداد آزمایش، با 8 لایه‌گذاری تعیین شده و مقدار الیاف مورد نیاز بریده و با توجه به آن مقدار رزین می‌شود. به منظور حصول ضخامت یکسان و خواص برابر، نمونه‌ها یک‌جا و در یک مرحله ساخته می‌شوند. برای این منظور، یک قالب صلب به اندازه مناسب آماده شده و جهت جلوگیری از چسبیدن رزین به قالب از یک ورق نازک جنس تفلون استفاده می‌شود. سپس به وسیله لایه چینی دستی ساخت کامپوزیت‌ها انجام می‌گیرد. با تحت فشار قرار دادن محصول، صافی سطح مناسب و توزیع یکنواخت ماتریس و ضخامت یکسان در تمام سطح کامپوزیت ایجاد شود. در نهایت، نمونه‌ها در اندازه‌ی 25×100 میلی‌متر بریده شدند. در انتها قطعات با دو ضخامت 1/5 میلی‌متر و 3 میلی‌متر برای بررسی اثر ضخامت ساخته شدند. برای ایجاد سطحی زبر در قسمتی از سطح کامپوزیت در موقع ساخت، پارچه داکرون قرار داده شد. برای هر آزمایش 4 نمونه در هر سطح تهیه شده است. در شکل (1) ساخت نمونه‌ها نشان داده شده است.

2-2- آماده‌سازی سطح

برای اتصال پلیمرهای گرماسخت تقویت شده، می‌توان از دوروش هم پخت کردن و آماده‌سازی سطح استفاده کرد. در روش هم پخت کردن، می‌توان از انواع روش‌های حرارت‌دهی اصطکاکی، حرارت‌دهی الکترومغناطیسی، گرمادهی

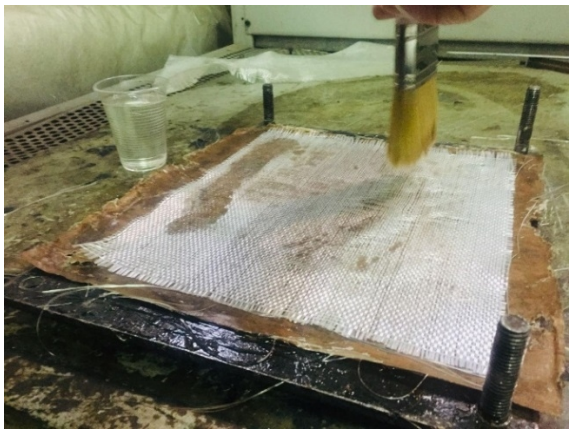
[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.2476583.1401.8.1.7.5]

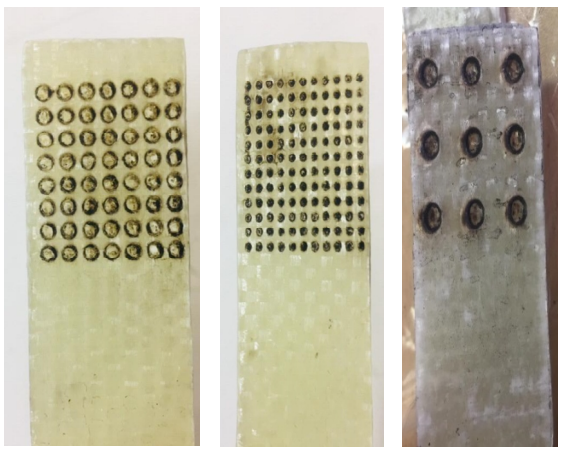
حجمی و تکنیک‌های دو مرحله‌ای استفاده نمود. در مقابل، روش‌های آماده‌سازی سطح از فرسایش پرتو لیزر، پولیش دستی، سایش مکانیکی، حرکت ارتعاشی و اچ شیمیایی می‌باشد. هدف از آماده‌سازی سطح از بین بردن اپوکسی سطحی جهت نفوذ مواد واسطه در قطعه، و در نتیجه آن بالا بردن استحکام کششی و افزایش مقاومت قطعات می‌باشد.

در این مقاله آماده‌سازی سطح قطعات با استفاده از روش فرسایش پرتو لیزر، پولیش دستی وسایش مکانیکی انجام شده است. برای آماده‌سازی با لیزر، می‌توان از انرژی لیزر که در سطح قطعه کار متمرکز می‌شود بهره برد. انرژی کاملا متمرکز شده و با چگالی بالا، بخش‌هایی از قطعه را به شیوه‌ای کنترل شده تبخیر می‌کند. این فرایند که نیازی به خلا ندارد، برای ایجاد الگوهایی به اشکال مختلف بر روی سطوح استفاده شده است. برای قطعات حکاکی ضخامت 1/5میلی‌متر انتخاب شد. ابتدا با استفاده از نرم‌افزار سالیدورک، طرح‌های مورد انتظار رسم شده سپس توسط دستگاه لیزر با دقت عملکرد 0/1 میلی‌متر با ولتاژ 220 بر روی نمونه آماده شده حکاکی شده است. در بخش آماده‌سازی با پولیش دستی سمباده‌زنی (ایجاد زبری) مساحت محل اتصال توسط کاغذ سمباده با جنس دانه اکسید آلومینیوم سمباده کاری می‌شود. در این روش نکته دارای اهمیت این است که مقدار سمباده کاری به حدی باشد که آخرین لایه ماتریس تقریبا ساییده شود اما از طرف دیگر حدالامکان آسیبی به الیاف نرسد؛ سمباده استفاده شده دارای درجه زبری 80 بوده که جزو دسته نسبتاً زبر قرار می‌گیرد. بخش دوم روش آماده‌سازی سطح ایجاد شیارهایی به صورت منظم یا نامنظم با ابعاد مختلف است؛ برای ایجاد شیارها با عرض و عمق کم می‌توان از تیغ کاتر و برای شیارهای دارای عرض و عمق بیشتر می‌توان از تیغ اره استفاده کرد. در بخش شیارهای دارای عرض و عمق کم برای نمونه اول شیارهایی نامنظم با عرض کمتر از 1میلی‌متر ایجاد شده است. تمامی قطعات بعد از ساخت در اندازه‌های استاندارد برش داده شده و سپس آماده‌سازی سطح بر روی آن‌ها انجام گرفت. قطعات آماده‌سازی شده سطح با لیزر در شکل(2) و آماده‌سازی دستی در شکل(3) نشان داده شده است.

در خصوص الگوهای انتخابی در شکل (2) با توجه به متعدد بودن طرح‌ها و بررسی‌های انجام شده، الگوی دایره‌ای نسبت به دیگر الگوها انتخاب گردید. زیرا با توجه به ضخامت نمونه‌ها، ایجاد اشکال دایروی روی سطح فضای بیشتری از سطح را می‌پوشاند که باعث نفوذ بیشتر چسب در نمونه‌ها می‌گردید. همانطور که در شکل بالا مشاهده می‌شود، الگوهایی در قطرهای متفاوت و تعداد متنوع آماده‌سازی شده‌اند. در شکل (3) قطعات برای زبر شدن سطح با سایش دستی آماده شده‌اند که هدف از انتخاب این نوع شکل، فقط جهت زبر کردن سطح می‌باشد و می‌توان از الگوهای دیگری نیز جهت آماده‌سازی سطح استفاده کرد.



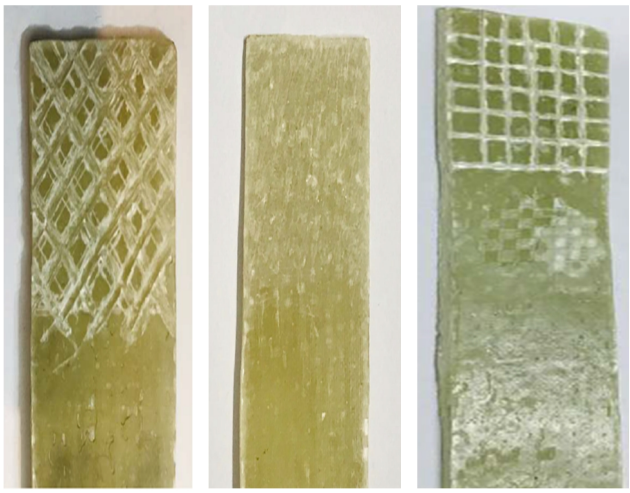
شکل1- ساخت نمونه‌های پلیمری گرماسخت تقویت شده با الیاف شیشه.



شکل2- قطعات آماده‌سازی شده سطح با لیزر.

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.2476583.1401.8.1.7.5]



شکل3- قطعات آماده‌سازی شده دستی.

2-3- مواد واسطه

برای اتصال قطعات از مواد واسط چسب اپوکسی استفاده شده است. اپوکسی به دلیل داشتن ویژگی‌هایی از جمله قدرت چسبندگی بالا به طیف گسترده‌ای از مواد، مقاومت بالا، مقاومت در برابر مواد شیمیایی و محیط و مقاومت در برابر خزش و بار پایدار، از پرکاربردترین چسب‌های ساختاری است که از صنایع عمومی، ساخت و ساز، مونتاژ الکترونیک و تولید خودرو تا صنعت هوافضا مورد استفاده قرار می‌گیرد. اجزای اصلی تشکیل‌دهنده چسب اپوکسی در درجه اول رزین اپوکسی (پایه چسبندگی) و هاردنر اپوکسی (عامل پخت) است. از بین چسب‌های اپوکسی دو ماده رزین اپوکسی AD_310 و هاردنر اپوکسی HA_15 انتخاب شدند.

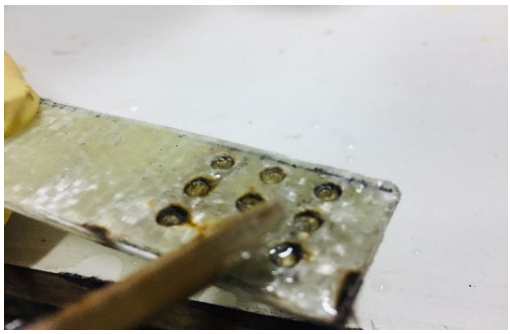
چسب اپوکسی AD_310 و هاردنر اپوکسی HA_15 بر پایه برترین اپوکسی بیسفنول و هاردنر آروماتیکی تغییر شکل یافته تولید و ارائه می‌گردد. در ساختار این چسب از هیچگونه حلال و دقیق کننده غیر واکنش‌گرا استفاده نشده تا از کاهش خصوصیات شیمیایی محصول تا حد ممکن جلوگیری به عمل آمده و ساختار پلیمری محصول در دراز مدت دچار تغییر و کاهش خصوصیات نشود. مقاومت شیمیایی، مکانیکی، حرارتی و چسبندگی بسیار فوق العاده این محصول امکان به‌کارگیری آن را در اتصال سطوح متعدد و محیط‌های مختلف شیمیایی میسر می‌نماید. از کاربردهای مختلف آن‌ها می‌توان به ساخت مخازن تحت فشار، ساخت اعضای سازه‌ای با مقاومت بالا، جلیقه‌های ضد گلوله، هواپیماسازی، صنایع الکترونیکی، عمرانی و غیره اشاره کرد. همچنین از این ماده شیمیایی می‌توان در پوشش کفپوش‌ها، کف‌سازی صنعتی، لاینینگ مخازن و کانال‌ها و چسباندن کلیه سطوحی که در مجاورت مواد شیمیایی و چسباندن کلیه سطوحی که در مجاورت آب‌های سنگین هستند، استفاده نمود.

3- فرایند اتصال

برای تکمیل عملیات اتصال از یک دستگاه سشوار صنعتی با توان 2000 وات، استفاده شده است. دمای هوای دمش در دوحالت قابل تنظیم می‌باشد، در حالت اول دما بین 50 تا 480 درجه سانتی‌گراد و در حالت دوم نیز بین مقدار 500 تا 600 درجه قابل تنظیم می‌باشد. به عبارت دیگر دمای دستگاه در بالاترین حالت به 600 درجه سانتی‌گراد می‌رسد. میزان همپوشانی دو قطعه 25×25 میلی‌متر می‌باشد که سطح همپوشانی قطعات به طور کامل چسب‌کاری شدند که در شکل(6-4) قابل مشاهده می‌باشد.



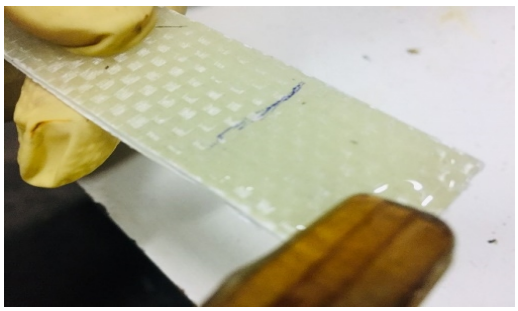
شکل4- چسب کاری قطعه سطح صاف



شکل5- چسب کاری قطعه سطح لیزر شده

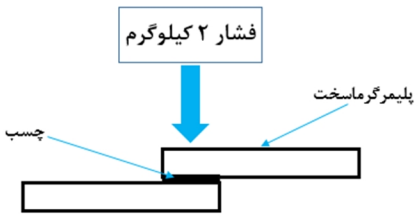
[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.2476583.1401.8.1.7.5]



شکل6- چسب کاری قطعه سطح زبر

برای انجام اتصال چسبی، قطعات طبق استاندارد ASTM 5868 به ابعاد 25 در 100 میلی‌متر و با ضخامت 1/5 میلی‌متر و 3 میلی‌متر بریده شدند. از یک وزنه 2 کیلوگرمی به منظور نگهداری قطعه کار بعد از چسب‌کاری و عملیات حرارت‌دهی موضعی در ناحیه همپوشانی استفاده شده است. در شکل (7) شماتیک اتصال قابل مشاهده می باشد.



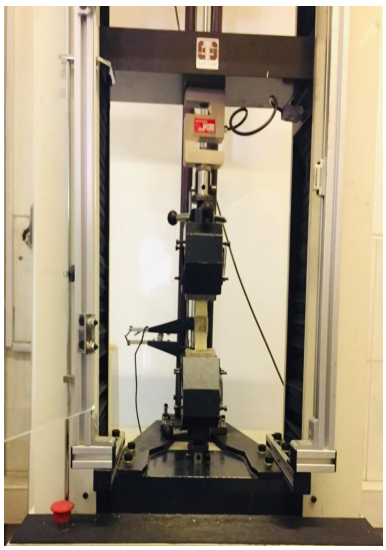
شکل7-نحوه اتصال قطعات

4- آزمون استحکام اتصالات

استحکام مکانیکی تمامی نمونه‌ها بعد از عملیات اتصال، مورد ارزیابی قرار گرفت. برای این‌کار از دستگاه کششی یونیورسال با ظرفیت 2 تن استفاده شد شکل(8). در ادامه اثر ضخامت قطعه، زبری سطح و طرح‌های حکاکی شده بر روی سطح در استحکام اتصال چسبی بررسی می‌شوند.

4-1- طراحی آزمایش و نتایج حاصله

به طور کلی در طراحی آزمایش در این مقاله، چهار فاز عملیاتی وجود دارد که شامل مراحل ساخت نمونه، آماده‌سازی سطح، اتصال و تست استحکام کششی است. در طراحی آزمایش در مرحله ساخت نمونه‌ها تمامی قطعات در اندازه 1/5 میلی‌متری و 3 میلی‌متری ساخته و در اندازه‌های استاندارد برش داده شدند.



شکل8- دستگاه استحکام کشش انیورسال

در مرحله بعد از ساخت نمونه که آماده‌سازی سطحی قطعات ساخته شده بود، الگوهای طراحی شده در بخش لیزر بر روی قطعات طراحی و سپس توسط پرتو لیزر آماده‌سازی سطحی شدند. همچنین در بخش پولیش دستی با در نظر گرفتن الگوهای مورد نظر سطوح قطعات زبرآماده‌سازی شدند. در مرحله سوم انجام عملیات اتصال توسط چسب و حرارت‌دهی موضعی انجام شد. تمامی قطعات نیز طی 24 ساعت تحت فشار بار 2 کیلوگرمی در دمای محیط نگهداری شدند. انجام چسب با طراحی آزمایش بر روی قطعاتی که ابعاد آن‌ها، اندازه‌های استاندارد آماده شده بودند، مطابق با جدول (1) و بطور مرتب انجام شدند تا از بروز خطای سیستمی جلوگیری شود. برای بدست آوردن نتایج علمی از تاثیر پارامترها بر اتصال، علاوه بر بررسی شکل ظاهری نمونه‌ها، از آزمون تعیین استحکام مکانیکی استفاده شد. آزمایش‌های مکانیکی در دمای اتاق و با سرعت کشش 2 میلی‌متر توسط دستگاه تست کشش تک محوره انجام شد.

جدول طراحی آزمایش براساس مقایسه استحکام برشی قطعات سطح ساده با نمونه‌های آماده‌سازی شده با لیزر و همچنین نمونه‌های زبر طراحی شده است. هدف از طراحی آزمایش بدست آوردن و نتیجه گیری مناسب و مقایسه نمونه‌ها با توجه به نوع آماده‌سازی سطح، ضخامت قطعات و استفاده از رزین

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.2476583.1401.8.1.7.5]

جدول 1- طراحی آزمایش اتصال چسبی پلیمرهای تقویت شده با الیاف شیشه.

شماره آزمایش	شیوه آماده سازی سطح	ضخامت نمونه (mm)	درجه حرارت (c°)	وزن اعمالی (kg)	استحکام برشی سطح (MPa)
۱	ساده	۱/۵	۱۸۰~۲۰۰	۲	۰/۲۶۶
۲	ساده	۱/۵	۱۸۰~۲۰۰	۲	۰/۲۹۶
۳	ساده	۳	۱۸۰~۲۰۰	۲	۰/۲۷۸
۴	ساده	۳	۱۸۰~۲۰۰	۲	۰/۳۳۲
۵	لیزر	۱/۵	۱۸۰~۲۰۰	۲	۰/۳۳
۶	لیزر	۱/۵	۱۸۰~۲۰۰	۲	۰/۳۲۶
۷	لیزر	۳	۱۸۰~۲۰۰	۲	۰/۵۹۶
۸	لیزر	۳	۱۸۰~۲۰۰	۲	۰/۶۱۴
۹	زبر	۱/۵	۱۸۰~۲۰۰	۲	۰/۳۸
۱۰	زبر	۱/۵	۱۸۰~۲۰۰	۲	۰/۳۸۴
۱۱	زبر	۳	۱۸۰~۲۰۰	۲	۰/۹۴۴
۱۲	زبر	۳	۱۸۰~۲۰۰	۲	۰/۷۳۶

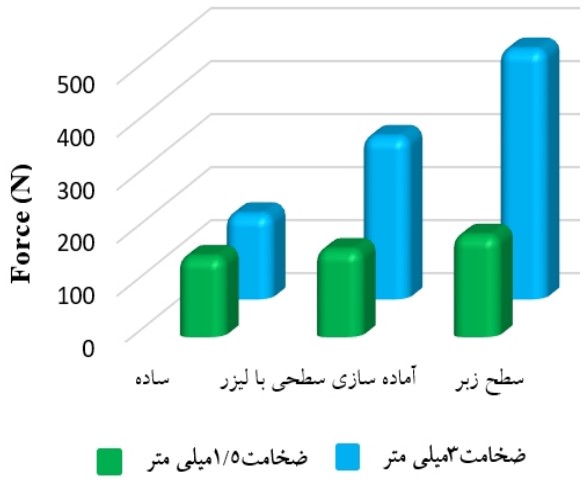
اپوکسی همراه با حرارت‌دهی موضعی می‌باشد تا مقاومت و قدرت چسبندگی نمونه‌ها به صورت برابر بررسی گردد.

5- نتایج و بحث

نمونه‌ها براساس ابعاد هندسی استاندارد بریده وسپس با استفاده از پارامترهای عنوان شده یکسان در بخش طراحی آزمایش اتصال یافته وتحت آزمون قرار گرفت. براساس تعداد پارامترهای درنظرگرفته شده و سطوح تغییرات آن‌ها در روش مورد استفاده در این مقاله، تعداد 12 آزمایش در مرحله طراحی آزمایش لحاظ شد و اتصال چسبی 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 اتصال چسبی از محل اتصال ماده واسطه با قطعات بوده است که نشان از ساخت مناسب قطعات و در هم پیچیدگی درست الیاف با رزین می‌باشد. دوم اینکه در قطعات لیزر شده و زبر شده دستی، بر خلاف قطعات ساده، رزین اپوکسی و هاردنر کامل در قطعات فرو می‌رود اما سطح ساده بدلیل نداشتن فضای خالی چسب استفاده شده کمتری بر روی سطح می‌ماند و مقداری از آن از بغل به بیرون راه پیدا می کند

تاثیر آماده‌سازی سطح یکی از عوامل مهم در استحکام چسب زبری سطح همپوشانی می‌باشد. همانطوری که در شکل(9) مشاهده می‌شود هر کدام از روش‌های آماده‌سازی سطح فارغ از ضخامت نمونه‌ها بهبودی را در استحکام اتصال ایجاد کردند که با توجه به مطالعات انجام شده روش‌هایی که استحکام بالاتری را ایجاد کرده‌اند دارای سطحی با انرژی بیشتر بودند که ترکنندگی آن سطح توسط چسب به صورت راحت‌تری اتفاق افتاده است که به طبع آن سطح اتصال بهتر و اتصال مستحکم‌تری را نتیجه داده‌اند.



شکل9- مقایسه استحکام کششی نمونه‌ها

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-21]

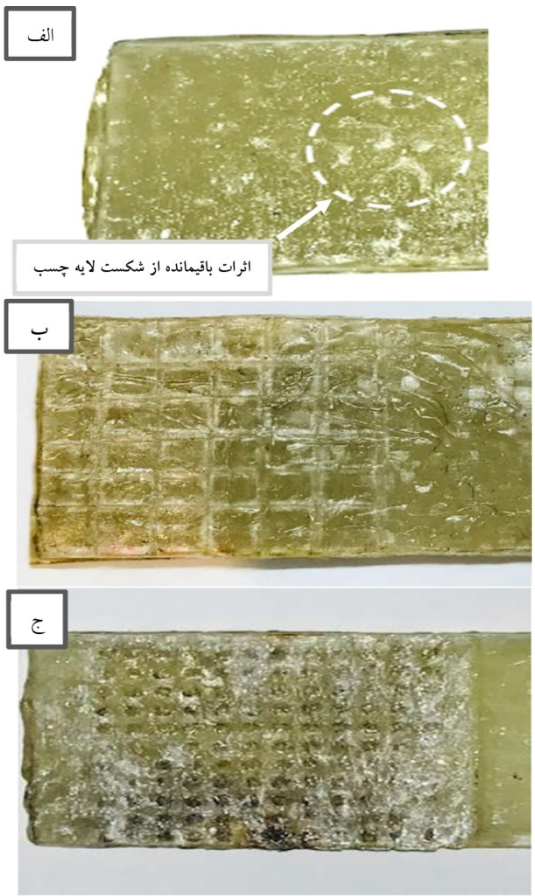
[DOR: 20.1001.1.2476583.1401.8.1.7.5]

با افزایش زبری سطح مقدار استحکام اتصال افزایش می‌یابد. علت آن، افزایش سطح تماس قطعه با چسب و درگیری بیشتر ماده چسب با سطح درگیری دو قطعه می‌توان دانست. همچنین سطح شکست نشان می‌دهد که شکست بین کامپوزیت و چسب اتفاق افتاده که زبری سطح بر این اتصال تاثیر می‌گذارد. استحکام نمونه آماده‌سازی سطح شده در مقابل آماده‌سازی سطح نشده در حدود 4 برابر بیشتر است، که به روشنی تاثیر آماده‌سازی سطح را در استحکام اتصال نشان می دهد.

برای بررسی ضخامت قطعه از دو ضخامت 1/5میلی‌متر و 3 میلی‌متر استفاده شد و نتایج استحکام کششی آن‌ها مشاهده می‌شود. نتایج نشان دادند که در سطوح بدون آماده‌سازی، استحکام به ضخامت بستگی ندارد. اما در نمونه‌های آماده‌سازی شده با لیزر و زبر شده، استحکام اتصال با افزایش ضخامت نمونه‌ها افزایش یافته است. از طرفی بیشترین استحکام مربوط به نمونه 3 میلی‌متری دارای سطح زبر با اندازه 450 نیوتن بوده است. تصاویر نحوه شکست اتصالات سطوح در شکل (10) نشان داده شده است. در نمونه (الف) مربوط به شکست بدون آماده‌سازی سطح می‌باشد که دارای کمترین استحکام به نسبت مابقی روش‌ها هست. نوع شکست اتفاق افتاده بدون هیچ آسیبی به الیاف و رزین بوده وبه مقدار کمی چسب با سطح درگیر شده است. در نمونه (ب) بالاترین استحکام حاصل شده است که سطح زبری است که با روش پولیش دستی شیارهای با عمق کم ایجاد شده است. در نمونه (ج) سطح آماده‌سازی با لیزر است نسبت به سطح ساده از استحکام بالاتری می‌باشد و نزدیکترین خروجی استحکام را در مقایسه با روش زبردار داشت.

نتیجه نشان از آن است که آماده‌سازی سطح و استفاده از چسب مناسب تاثیر بسزایی در استحکام کششی قطعات دارد. در این آزمایش‌ها به‌خوبی نشان داده شده است که قطعات ساده در مقابل قطعات آماده‌سازی سطح شده با لیزر و پولیش دستی، از استحکام و کم‌تری برخوردارمی‌باشند. حداکثر استحکام قطعات آماده‌سازی سطحی در مقایسه با حداکثر استحکام قطعات ساده از اختلاف مقاومت بیشتری برخوردارند. در آماده‌سازی سطح از دو نوع لیزر و زبر استفاده شده است. نتایج نشان دادند که نمونه‌های سمباده زنی شده نسبت به لیزر از قدرت چسبندگی بیشتری برخوردار بودند، که این خود نشان از اهمیت بالای آماده‌سازی سطح می‌باشد که باعث افزایش و مقاومت قطعات گردیدند. استفاده از آماده‌سازی سطح در نمونه، باعث مقاومت بیشتر قطعات در مقابل استحکام کششی شده است. لذا می‌توان با روش پیشنهادی در الگوهای جدید و تغییر در چسب استفاده شده اتصال مناسبی را پیشنهاد نمود.

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



شکل10- نحوه شکست نمونه‌ها.

6- نتیجه‌گیری

در مقاله حاضر تاثیر پارامترهای زبری سطح، ضخامت کامپوزیت و الگوی سطح حکاکی شده توسط لیزر در استحکام اتصال چسبی در کامپوزیت‌های گرماسخت بررسی شد. در این

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-21]
[DOR: 20.1001.1.2476583.1401.8.1.7.5]

پژوهش کامپوزیت‌ها از اپوکسی / شیشه ساخته و توسط رزین، به عنوان چسب به هم متصل شدند و با آزمایش استحکام برشی تحت کشش قرار داده شدند. نتایج حاصل نشان می‌دهد که:

- در نمونه‌های اتصال چسبی مورد توجه در این مقاله، ضخامت 3 میلی‌متری سطح زبر بیشترین مقاومت را از خود نشان داده است.

- با افزایش زبری سطح استحکام کششی اتصال افزایش می‌یابد.

- اگرچه سطح لیزر شده زبری سطح را به نوعی افزایش می‌دهد اما نسب به سطوح پولیش دستی از استحکام کمتری برخوردار است.

- نوع شکل هندسی سطح حکاکی شده به استحکام اتصال تاثیر می‌گذارد به طوری‌که کمترین استحکام مربوط به سطح لیزر می‌باشد که برابر 163 نیوتن است.

- ضخامت قطعه کامپوزیتی با توجه به نتایج جدول طراحی تاثیر مهمی در استحکام اتصال چسبی دارد.

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

منابع

1- M. Najafi, M. Golzar, M. Sadeghi, Experimental evaluation of joint strength in polypropylene-glass fiber reinforced composites under tensile load, Iranian Journal of Manufacturing Engineering, Vol. 6, No. 2, pp. 39-46, 2019 (in Persian)

2- Dillard, D.A., Advances in structural adhesive bonding, Woodhead, Cornwall,2010.

3- Khalili, S. M. R., Tavakolian , M., Sarabi, A., “Mechanical properties of nanoclay reinforced epoxy adhesive bonded joints made with composite materials”, Journal of Adhesion Science and Technology, Taylor & Francis, 24, 1917–1928, 2010.

4- M.M. Shahryarifard, M. Golzar and M. Safarabadi, NovelParameters in Load Capacity and Failure of Coaxial Steel Tubes Jointed byWrapped GFRP Sleeve, International Journal of Adhesion and Adhesives.

5-Meng Hou, Thermoplastic Adhesive for Thermosetting Composites Meng, School of Mechanical and Mining Engineering, University of Queensland, Brisbane, QLD 4072, Australia,2012

6- Myshkin, Nikolai, and Alexander Kovalev. "Adhesion and surface forces in polymer tribology—A review." Friction 6.2 (2018).

7- Novak, I. and Chodak, I. (1995). Effect of Grafting on Polypropylene Adhesive Characteristics, Journal of Materials Science Letters, 14(18)

8-M.O.W. Richardson, J.M. Ferreira, P.N.B. Reis., Effect of the Surface Preparation on PP Reinforced Glass Fiber Adhesive Lap Joints Strength

9- Molitor, P., Barron, V. and Young, T. (2001). Surface Treatment of Titanium for Adhesive Bonding to Polymer Composites: A Review, International Journal of Adhesion and Adhesives, 21(2): 129–36.

10-Morris, C.E.M. (1971). Adhesive Bonding of Polypropylene, Journal of Applied
Polymer Science, 15(2): 501-505

11-Piotr Symaszko, Mateusz Łukasik, Paweł Orzechowski, Janusz Lisiecki, Dominik Nowakowski, infleunce of surface preparation in composite bonded joints

12-Fathiad Asgari Mehrabadi, Experimental and 12-rical Failure Analysis of Adhesive Composite Joints Journal of Adhesion Science and Technology, 14(8): 1085–102.

13-Brandtner-Hafner, Martin. "Structural safety evaluation of adhesive bonds: A fracture analytical approach." Engineering Failure Analysis 123 (2021).

14- Gacs, J., Vernon, Z., Kocsis, L. et al. Epoxy mold adhesion on various plasma-treated thermoplastic polymer surfaces. Int J Adv Manuf Technol 120, 4493–4504 (2022).

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.2476583.1401.8.1.7.5]