بررسی اثر رزین آب‌پایه کوپلیمربوتیل اکریلات- استایرن و نانوذرات سیلیکا برخواص مکانیکی چسب اپوکسی- فنولیک برای اتصال فویل‌های آلومینیومی در ساختارهای لانه‌زنبوری

زهرا عباسی[1] ، امید معینی جزنی[1]، امیرتراب پور اصفهانی[2]، مریم علی اکبری[1]

[1] گروه مهندسی شیمی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران. صندوق پستی: ۸۱۷۴۶-۷۳۴۴۱
[2] پژوهشکده مواد و انرژی ، پژوهشگاه فضایی ایران، اصفهان، ایران، صندوق پستی: ۱۷۴--۸۱۹۵۵
* مسئول مکاتبات، پیام نگار: o.moini@eng.ui.ac.ir

چکیده

در این پژوهش به منظور بهبود خواص مکانیکی چسب اپوکسی جهت استفاده در ساختارهای لانه زنبوری، از رزین اکریلیکی پایه آب (بلاک کوپلیمر بوتیل اکریلات- استایرن) جهت افزایش چقرمگی در کنار استحکام بالا و به عنوان چقرمه کننده استفاده گردید. همچنین به عنوان پرکننده و استحکام دهنده از نانوذرات سیلیکا و جهت افزایش مقاومت حرارتی از رزین فنولیک (نوع رزول) در فرمولاسیون چسب اپوکسی استفاده شد. نتایج حاصل از تست کشش نمونه های اتصال فویل آلومینیم نشان داد که با افزودن ۲,۵ phr رزین چقرمه کننده و ۱ phr نانوذرات سیلیکا، استحکام برشی و چقرمگی چسب به ترتیب به میزان ۱۷,۷۱٪ و ۷۵۰٪ نسبت به اپوکسی خالص افزایش می‌یابد.

کلید واژگان: چسب، اپوکسی، فنولیک، رزین اکریلیک، نانوذرات سیلیکا

۱- مقدمه

رزین های اپوکسی کاربرد گسترده‌ای در ساخت کامپوزیت‌ها و چسب‌ها دارد. این رزین‌ها به دلیل مقاوت شیمیایی و رطوبتی عالی، جمع شدگی کم، مقاومت مکانیکی برجسته و همچنین چسبندگی خوب به اکثر سطوح، مورد توجه بسیاری از صنایع از جمله هوافضا، الکترونیک، خودروسازی است [۱]. استفاده از چسب‌های اپوکسی در ساختارهای ساندویچی لانه زنبوری، از جمله کاربرد این رزین‌ها در صنعت هوافضا می‌باشد. چسب‌های مورد استفاده در ساختارهای لانه زنبوری باید دارای قابلیت‌هایی از جمله: چقرمگی بالا، مقاومت حرارتی بالا، خواص پرکنندگی خوب و گازروی مناسب برای هسته‌های لانه زنبوری، قابلیت انتقال تنش باشند. هنگامیکه رزین اپوکسی با یک عامل پخت مناسب، پخت شود، شبکه‌ای شده و ساختاری ترد و شکننده ایجاد می‌کند و این امر موجب محدودیت کاربرد رزین‌های اپوکسی می‌شود. جهت کاهش خاصیت شکننده بودن شبکه اپوکسی، از رابرها، ذرات هسته- پوسته، پلیمرهای پرشاخه، ترموپلاستیک‌ها استفاده می شود[۲]. مطالعات بسیاری در جهت بهبود خواص مکانیکی ساختارهای اپوکسی صورت گرفته است. کامار و همکارش از میکروذرات رابری در ساختار اپوکسی استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که ذرات رابری به طور مؤثری چقرمگی ساختار شبکه‌ای اپوکسی را بهبود می‌دهد، اما استحکام مکانیکی ماتریس رزین را کاهش می‌دهد[۳]. هانگ فنگ و همکارانش از تری بلاک کوپلیمر اکریلیک و نانولوله‌های کربنی چند جداره در ماتریس اپوکسی پخت شونده با عامل آمینی استفاده کزدند. با افزودن ۷,۱٪ وزنی از کوپلیمر اکریلیکی و ۰,۴ درصد وزنی نانولوله‌های کربنی چند جداره، استحکام کششی و استحکام ضربه کامپوزیت نسبت به اپوکسی خالص به ترتیب به میزان ۱۱,۲۵٪ و ۳۶,۴٪ افزایش یافت[۲]. ونگ و همکارانش نشان دادند که استفاده از پلی (متیل متاکریلات)- بلاک- پلی (بوتیل اکریلات)- بلاک- پلی (متیل متاکریلات) و ذرات هسته پوسته (هسته- پلی بوتادین و پوسته- پلی متیل متاکریلات) در ماتریس اپوکسی، ضمن حفظ ویسکوزیته و خواص حرارتی آن، مقاومت

خمشی و چقرمگی آن را افزایش می‌دهد[۴]. در تحقیقی اثر افزودن نانوذرات سیلیکا و لاستیک ATBN بر خواص مکانیکی و حرارتی اپوکسی بررسی شد. همواره افزودن نانوذرات سیلیکا در محدوده ۱تا ۸ درصد وزنی به ماتریس اپوکسی موجب افزایش مقاومت حرارتی و همچنین افزایش دمای انتقال شیشه‌ای و استحکام برشی لبه‌ای شد[۵]. در تحقیقی مقاومت حرارتی اپوکسی با افزودن ۳۰-۱۰ درصد وزنی رزین فنولیک (نوع رزول) به آن، مورد بررسی قرار گرفت و دمای تخریب نهایی ماتریس اپوکسی از ۷۱۷ درجه سانتی‌گراد به ۷۵۵ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت [۶].

در این مطالعه به بررسی اثر افزودن نانوذرات سیلیکا (۰٫۵-۱-۱٫۵ phr)، رزین اکریلیکی (بلاک کوپلیمر اکریلیک (بوتیل اکریلات-استایرن)) (۲٫۵-۵-۱۰ phr)، بر خواص مکانیکی چسب اپوکسی- فنولیک در کاربرد اتصال فویل‌های آلومینیومی مورد کاربرد در ساختارهای لانه زنبوری مورد استفاده در صنعت هوافضا پرداخته می‌شود. از تست کشش جهت بررسی خواص مکانیکی استفاده می‌شود.

۲- بخش تجربی

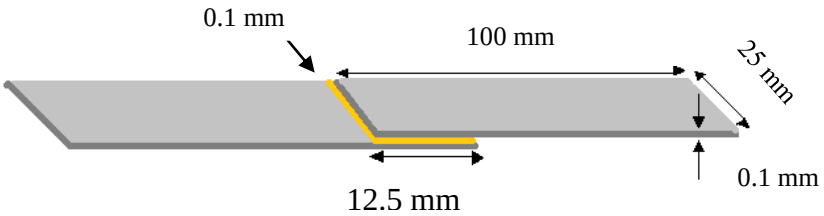
۲-۱- مواد

در این پژوهش از رزین مایع اپوکسی، DGEBA (NPEL 128)، به عنوان ماتریس چسب و از عامل پخت سیکلوآلیفاتیک، جهت پخت رزین، (محصول شرکت پارس رزین) استفاد شد. همچنین از دیگر مواد: زایلن، (محصول شرکت مرک آلمان)، به عنوان رقیق کننده رزین اپوکسی، رزین فنولیک نوع رزول (Resol) ساخت شرکت Hirenol، پرکننده نانوذرات سیلیکا، رزین پایه آب اکریلیک، با نام تجاری ۶۲۰، محصول شرکت رزینفام به عنوان چقرمه کننده استفاده شد.

۲-۲- تجهیزات

جهت پخش یکنواخت مواد در ماتریس چسبی و همگن شدن محصول نهایی از همزن مکانیکی مدل Heidolph RZR 2041 و از فویل‌های آلومینیومی با ابعاد ۱۰۰× ۲۵× ۰/۱ میلی‌متر طبق استاندارد EN 1465:2009 (شکل ۱) جهت تشکیل اتصالات تک لبه فویل به فویل برای اندازه‌گیری خواص چسبندگی چسب استفاده شد.

آزمون کشش اتصالات تک لبه توسط دستگاه آزمون کشش مدل STM-150 ساخت شرکت سنتام، انجام گرفت.



شکل۱- ابعاد اتصال تک لبه فویل آلومینیوم [۷]

آماده سازی سطوح آلومینیومی جهت اتصال، با روش انودایزینگ انجام شد که شامل منبع تغذیه مدل DC POWER SUPPLY HY3005F-3 جهت برقراری جریان بین آند و کاتد در ولتاژ ثابت و قطعه فلزی از جنس پلاتین در نقش کاتد است.

۲-۳- فرمولاسیون چسب

[1] Parts by weight based on 100 parts of epoxy resin

نمونه چسب‌ها مطابق جدول شماره ۱ تهیه شدند این جدول با روش تاگوچی طراحی شده است و هر یک از عوامل مؤثر در فرمولاسیون چسب دارای سه سطح می‌باشند. نمونه چسب‌ها جهت تهیه اتصالات تک لبه بر سطوح آلومینیومی اعمال شدند. مدت زمان پخت نمونه‌ها در دمای محیط۴۸ ساعت بود.

جدول ۱- آزمایش‌ها، عوامل و سطوح هر یک از عوامل

شماره آزمایش	رزین فنولیک (phr)	رزین چقرمه کننده (phr)	نانوذرات سیلیکا (phr)
۱	۵۰	۲,۵	۰,۵
۲	۵۰	۵	۰,۵
۳	۵۰	۱۰	۰,۵
۴	۵۰	۲,۵	۱
۵	۵۰	۵	۱
۶	۵۰	۱۰	۱
۷	۵۰	۲,۵	۱,۵
۸	۵۰	۵	۱,۵
۹	۵۰	۱۰	۱,۵

۳- نتایج و بحث

نتایج خواص مکانیکی اتصالات چسبی در تست کشش، در جدول شماره ۲ آورده شده است.

جدول۲- نتایج خواص مکانیکی اتصالات چسبی آلومینیم- آلومینیم (آنودایز شده) در تست کشش

شماره آزمایش	استحکام برشی (MPa)	مدول یانگ(MPa)	چقرمگی(KJ/m3)	کرنش (٪)
۱	۱,۲۶۲ ±۰,۰۵	۲۳,۳۷۰±۰,۱۵	۱۲۶,۰۸۴±۱	۱۳,۰۱۵±۰,۱۱
۲	۱,۱۷۳ ±۰,۰۹	۲۰,۰۹۵±۰,۲۲	۱۶۷,۴۷۱±۲	۱۷,۴۲۳±۰,۱۰
۳	۱,۲۴۷ ±۰,۰۳	۲۱,۱۴۳±۰,۱۱	۱۵۰,۰۴۰±۳	۱۵,۳۷۱±۰,۱۳
۴	۱,۲۷۶ ±۰,۰۵	۲۰,۸۰۹±۰,۱۲	۱۸۳,۳۲۷±۴	۱۷,۶۳۰±۰,۱۵
۵	۱,۲۷۹±۰,۰۴	۲۳,۴۷۲±۰,۱۰	۱۴۷,۶۸۲±۳	۱۴,۵۳۱±۰,۱۲
۶	۱,۲۴۰±۰,۰۷	۲۰,۹۵۳±۰,۱۴	۱۱۱,۲۰۸±۲	۱۱,۸۶۱±۰,۱۱
۷	۱,۲۶۸±۰,۰۱	۱۹,۶۹۹±۰,۱۲	۱۶۰,۴۶۷±۴	۱۶,۰۳۵±۰,۱۶
۸	۱,۱۷۵±۰,۰۲	۲۱,۰۱۲±۰,۱۶	۱۰۲,۲۱۲±۲	۱۱,۲۹۰±۰,۱۱
۹	۱,۲۸۲±۰,۰۳	۲۰,۲۳۰±۰,۱۱	۱۶۳,۰۱۱±۳	۱۵,۹۰۵±۰,۱۲
چسب اپوکسی خالص	۱,۰۸۴±۰,۰۲	۲۸,۳۵۴±۰,۱۵	۲۱,۵۴۶±۲	۵,۲۴۱±۰,۱۱
چسب اپوکسی/فنولیک	۱,۲۱۰±۰,۰۶	۲۰,۸۲۰±۰,۱۳	۸۱,۴۶۲±۱	۹,۴۳۰±۰,۱۲

حضور گروه‌های جانبی و بزرگ کوپلیمر اکریلیکی، میزان نزدیکی زنجیره‌های پلیمری را در کنار یکدیگر محدود می‌کند و حرکت آن‌ها را به اطراف تسهیل می‌کند و موجب افزایش چقرمگی اپوکسی می‌شوند. با توجه به نتایج تست کشش مشاهده می‌شود که وقتی رزین چقرمه کننده در سطح ۱ خود و پرکننده نانوسیلیکا در سطح ۲ خود باشد، بیش‌ترین میزان استحکام و چقرمگی حاصل می‌شود. نانوذرات سیلیکا با قرار گرفتن بین زنجیره‌های پلیمری، موجب کاهش تحرک زنجیره های پلیمری می‌شوند و به این ترتیب میزان مدول را افزایش می‌دهند [۸]. از طرفی این نانوذرات می‌توانند با مکانیسم مسدود کردن نوک ترک و یا انحراف رشد ترک موجب افزایش چقرمگی شوند. اما با افزایش میزان نانوسیلیکا از سطح ۲ به سطح ۳ به نظر می‌رسد نانوذرات سیلیکا تجمع پیدا می‌کنند و موجب ایجاد نقاط ضعیف در برابر اعمال تنش می‌شوند و ترک از این نواحی شروع به رشد میکند. با افزایش میزان رزین چقرمه کننده، با توجه به آب‌پایه بودن این رزین، میزان حباب‌های به دام افتاده در سیستم افزایش می‌یابد و این امر موجب افت خواص مکانیکی می‌شود.

۴- نتیجه‌گیری

چسب‌های اپوکسی با توجه به خواص عالی و چسبندگی به اکثر سطوح در صنایع مختلف از جمله صنعت هوافضا بسیار مورد توجه قرار گرفته است. از جمله کاربرد این چسب‌ها در ساختارهای لانه‌زنبوری مورد استفاده در بدنه ماهواره‌ها می‌باشد. در این تحقیق از از یک رزین اکریلیکی پایه آب (بلاک کوپلیمر بوتیل اکریلات-استایرن) به عنوان عامل چقرمه کننده و نانوذرات سیلیکا در سه سطح (۰,۵-۱-۱,۵ phr) به عنوان عامل پرکننده و رزین فنولیک (۵۰phr) به عنوان افزایش دهنده مقاومت حرارتی در چسب اپوکسی، جهت اتصال فویل‌های آلومینیومی مورد کاربرد در ساختارهای لانه زنبوری استفاده شد. نتایج تست کشش نشان داد که می‌توان در یک ترکیب درصد مشخص (۲,۵ phr رزین چقرمه کننده و ۱phr نانوذرات سیلیکا) به پاسخی بهینه از حیث کلیه خواص مکانیکی نسبت به نمونه چسب اپوکسی خالص دست یافت.

مراجع

[1] Zeng S., Shen M., Xue Y., Zheng Y., Zhang K., Han Y., Yang L. (2019). Controllable mechanical properties of epoxy composites by incorporating self-assembled carbon nanotube–montmorillonite, Composites Part B, 164, 368–376,

[2] Li H., Liu Z., Gu J., Wang D., Qu Ch., Bai X., Qiao Y. (2019). Performances of epoxy-based composites with multi-wall carbon nanotubes and acrylic tri-block copolymer, NANOCOMPOSITES, 5(1), 28-35.

[3] Kimura H., Matsumoto A., Sugito H. (2001). New thermosetting resin from poly(p-vinylphenol) based benzoxazine and epoxy resin. J Appl Polym Science, 79, 555-565.

[4] Wang J., Xue Z., Li Y., Li G., Wang Y, Zhong W., Yang X. (2018). Synergistically effects of copolymer and core-shell particles for toughening epoxy, Polymer, 140, 39-46.

[5] Kinloch A.J., Lee J.H., Taylor A.C., Sprenger S., Eger C., and Egan D. (2003). Toughening structural adhesives via nano-and micro-phase inclusions. The Journal of Adhesion, 79,867-873.

[6] Al-Muaikel N.S., and Shokralla S.A. (2010). Thermal Properties of Epoxy (DGEBA)/Phenolic Resin (Novalac) blends, The Arabian Journal for Science and Engineering, 35(1B), 7-14.

[7] Aerospace Structural Adhesive, Prepared by the AD HOC committee on structural adhesive for aerospace use. Washington, D.C: NAS-NAE, 1974.

[8] Jouyandeh M., Moini Jazani O., Navarchian A.H., and Saeb, M.R. (2016). High-performance epoxy-based adhesives reinforced with alumina and silica for carbon fiber composite/steel bonded joints, Journal of Reinforced Plastics and Composites, 35(23), 1685-1695.