تحلیل تنشی اتصالات چسبی در سازه های کامپوزیتی های پایه پلیمر

محمدجعفر هادیان فرد

دانشیار بخش مهندسی مواد دانشگاه شیراز

سید جمشید موسوی

مدرس دانشگاه آزاد اسلامی واحد استهبان

علی اکبرپور

دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی متالورژی و مواد دانشگاه شیراز

حمیدرضا مولایی

دانشجوی کارشناس ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروزآباد

چکیده

در این تحقیق دو نوع اتصال چسبی Single lap joint و Double lap joint بررسی شده است. کامپوزیت های فایبر گلاس – اپوکسی در 12 لایه فایبر برای اتصال single lap و در 6 و 8 لایه فایبر برای اتصال double lap ساخته شدند. روش بکار گرفته شده در ساخت کامپوزیت ، روش دستی بوده است. نمونه ها در دمای $200^{\circ}C$ و بمدت 2 ساعت داخل آون پخت شدند. برای اتصال کامپوزیت ها با روش های فوق نیاز به آماده سازی سطحی ناحیه اتصال بود. اینکار توسط محلول متیل- اتیل- کتون (MEK) انجام گرفت. سه نوع چسب استفاده شد که عبارتند از: چسب اپوکسی TRK1900 ، Araldite2015 و چسب Aerosil.

چسب ها در چهار ضخامت 0.1 ، 0.2 ، 0.8 و 1mm و در چهار طول اتصال ۱۲,۵ ، ۲۵ ، ۳۸ و ۵۰ mm اعمال شدند. جهت بررسی خواص مکانیکی، نمونه های کششی ساخته شدند. نتایج نشان می دهد که بیشترین استحکام اتصال با چسب اپوکسی TRK1900 درضخامت ۰,۲ mm و طول اتصال ۳۸ mm حاصل می شود. اتصالات چسبی بکار گرفته شده با نرم افزار Ansys نیز تحلیل شدند.

کلمات کلیدی :

اتصالات چسبی ، سازه کامپوزیتی ، پلیمر ، فایبرگلاس- اپوکسی، Double lap joint، Single lap joint و المان محدود.

۱- مقدمه

سازه های کامپوزیتی ممکن است از قطعات و اجزای متعددی تشکیل شوند که با اتصالات مختلف به یکدیگر مرتبط می شوند و روز به روز کاربردشان در صنایع اتومبیل سازی و هوا فضا افزایش می یابد. این اتصالات معمولا از نوع مکانیکی (پیچ و پرچ)، چسبی و جوش هستند. اتصالات یکی از معمولترین عوامل شکست در سازه ها به حساب می آیند بطوریکه حدود 70درصد شکست از اتصالات شروع میشود. بنابراین مورد توجه قرار دادن همه جنبه های اتصالات در طی پروسه طراحی بسیار مهم است. مواد کامپوزیتی به تنش های موضعی حساس اند. لذا بخاطر تمرکز تنش در و یا نزدیکی محل اتصال استفاده از اتصالات مکانیکی محدود می شود. دامنه استفاده از اتصالات جوشی به کامپوزیت های ترموپلاستیک بر می گردد. در حالیکه در اتصالات چسبی بار به شکل هموارتری از یک عضو به عضو دیگر در ناحیه اتصال منتقل میشود. در اینجا چسب به عنوان واسطه در انتقال بار است.

در حقیقت تفاوت اصلی اتصال چسبی با اتصال مکانیکی در اینست که تمرکز تنش در اتصال چسبی بخاطر سطح اتصال بیشتر، کمتر می باشد و توزیع تنشی در ناحیه اتصال یکنواخت تر است [1]. برای اثر بخشی بیشتر به این مهم، پارامترهای مربوط باید بهینه شوند. این پارامترها عبارتند از: ضخامت لایه چسب، طول ناحیه اتصال، انتخاب نوع چسب و ... . با طراحی و انتخاب درست اجزاء میتوان اتصالی مطمئن تر و با طول عمر بیشتر ایجاد کرد.

۲- مواد و روش تحقیق

در این تحقیق برای ساخت کامپوزیت، از رزین اپوکسی و هاردنر با پارچه های بافته شده [1] گلاس استفاده شد. بطوریکه رزین و هاردنر پس از مخلوط کردن دقیق بروی پارچه کشیده شدند. این عمل در داخل قالب انجام گرفت. پس از بسته شدن قالب، نمونه ها در دمای $200^{\circ}C$ و به مدت 2 ساعت داخل آون پخت شدند تا به بیشترین استحکام خود برسند. برش نمونه های Single lapو Double lap

بترتیب بر اساس استانداردهای ASTM D5868 و ASTM D3528 انجام گرفت[۳-۲]. آماده سازی سطحی نیز بر اساس استاندارد ASTM D2093 توسط محلول متیل- اتیل- کتون کامل شد[4]. از سه نوع چسب استفاده شد. چسب های اپوکسی TRK1900و آرالدایت 2015 هر کدام شامل دو جزء A و B (رزین و هاردنر) بودند که با نسبت حجمی یک به یک، دو جز مخلوط شده و روی هر دو سطح اتصال کشیده شدند تا از حبس شدن هوا جلوگیری شود و چسب به همه جای اتصال برسد. چسب اروزیل [2] نیز ترکیبی از رزین و هاردنر استفاده شده در ساخت کامپوزیت به همراه پودر اروزیل می باشد.

برای چسب ها چهار ضخامت مختلف 0.1 ، 0.2 ، 0.8 و 1mm در نظر گرفته شد. این ضخامت ها توسط فیلرهایی از جنس آلومینیوم که برای این منظور فراهم شدند، کنترل گردیدند. چهار طول اتصال ۱۲,۵ ، ۲۵ ، ۳۸ و mm ۵۰ برای اتصال در نظر گرفته شدند. پس از آماده شدن نمونه های اتصال، جهت بررسی خواص مکانیکی، نمونه ها تحت تست Shear-Tensile قرار گرفتند. نمونه های Single lap با سرعت ۱۳mm/min و نمونه های Double lap با

سرعت ۲mm/min کشیده شدند. مشخصات رزین اپوکسی- هاردنر و الیاف فایبر گلاس در (جدول – ۱) و نمای شماتیک نمونه ها در (شکل – ۱) آمده است.

۳- نتایج و بحث

پس از انجام تست و بدست آوردن بار شکست در نمونه ها، نمودار بار شکست بر حسب ضخامت چسب در طول اتصال ثابت ۲۵mm رسم گردید (نمودار- ۱). بر اساس این نمودار، چسب اپوکسی TRK1900 دارای بیشترین بار شکست است که مقدار آن 2266/8N در ضخامت 0.2mm می باشد. با افزایش ضخامت چسب، مقادیر بار شکست کاهش می یابد بطوریکه مقدار کمترین بار شکست مربوط به همین چسب ۱۴۹۰,۴۴N بوده که در ضخامت ۱mm چسب اتفاق افتاده است. در نمودار دیگری که بر اساس بار شکست و طول ناحیه اتصال بدست آمد مشخص شد که در ضخامت ۰,۲mm، چسب

اپوکسی TRK1900 بیشترین بار شکست را در طول اتصال ۳۸mm نشان داده و مقدار آن ۲۲۹۰,۱۲N بوده است (نمودار – ۲).

اتصال، نشان دهنده یک ناپیوستگی در سازه است و منجر به ایجاد تنش های بالا می شود که اغلب به شکست می انجامد. لذا آگاهی از تنش ها در بهبود طراحی و استحکام اتصال ضروریست. وجود تنش های ماکزیمم در لایه چسب، مهمترین عامل شکست اتصالات چسبی است. مهمترین این تنش ها، تنش برشی ماکزیمم و تنش پوسته پوسته شدگی [1] ماکزیمم می باشد [5]. در تحلیلی که توسط المان محدود انجام گرفت (شکل – ۲)، از المان سه بعدی Solid(plane73) استفاده شد و تحلیل تنش های برشی و پوسته پوسته شدگی در فصل مشترک لایه چسب/Adherent و همچنین در وسط لایه چسب انجام گرفت.

از تحلیل المان محدود مشخص شد که توزیع این تنش ها چه در فصل مشترک لایه چسب/Adherent و چه در وسط لایه چسب، در سراسر ناحیه اتصال یکنواخت نیست و در دو انتهای ناحیه اتصال به بیشترین مقدار خود می رسد. بر اساس رابطه زیر بیشترین مقدار تنش برشی چند برابر تنش برشی متوسط ، τm، است:

$$\tau_{\max} = \eta \tau_m$$

در این رابطه τm ، نسبت بار اعمالی P به سطح برشی باند می باشد و η فاکتور تمرکز تنش است که متناسب با رابطه زیر بدست می آید:

$$\eta \cong \frac{GL^2}{Esd}$$

طول ناحیه اتصال L بترتیب مدول برشی و ضخامت لایه چسب هستند و d و Gدر اینجا . می باشندAdherent نیز بترتیب مدول یانگ و ضخامت s و Eاست.

بخاطر خارج از مرکز بودن بار (EccentricityofLoad) که از مشخصه های اصلی هندسه اتصالSingle lap است، در نمونه bending ایجاد شده و تمرکز تنش پوسته پوسته شدگی نیز در دو انتهای ناحیه اتصال بوجود می آید که باعث کاهش استحکام اتصال می شود [۷- ۶]. روابط آن مطابق زیر است:

$$\sigma_{\max} = \eta_1 \sigma$$

$$\eta_1^2 \cong \frac{6E_a s}{Ed}$$

در رابطه فوق Ea مدول یانگ لایه چسب است.

همانطور که از روابط بالا بر می آید در یک بار اعمالی، مقدار ماکزیمم تنش های برشی و تنش های پوسته پوسته شدگی، با افزایش ضخامت چسب کاهش می یابد. به این ترتیب تمرکز تنش بالا در دو انتهای ناحیه اتصال با افزایش ضخامت لایه چسب کاهش می یابد و باعث بهبود استحکام لایه چسبی می شود. همچنین در یک بار اعمالی، با افزایش طول ناحیه اتصال استحکام برشی آن کاهش می یابد [۸].

تست Shear-Tensile بر روی نمونه های Double lap نیز انجام شد. نمونه ها در طول اتصال ۳۸mm و ضخامت چسب ۰,۲mm ساخته شدند. بار شکست برای این نمونه ها ۴۸۱۶,۹N بوده که بیشتر از دو برابر بار شکست مشابه در نمونه های Single lap است.

از آنجاییکه بدلیل هندسه متقارن در اتصال Double lap، شرایط خارج از مرکز بودن بار (Eccentricity of Load) منتفی است، بنابراین bending از بین رفته و تنش ها به صورت هموارتری توزیع می گردند لذا اتصال شرایط مطلوب تری پیدا خواهد کرد.

۴- نتیجه گیری

۱. اتصالات Double lap نسبت به اتصالات Single lap از سفتی و استحکام بالاتری برخودارند.

۲. تنش های ماکزیمم برشی و پوسته پوسته شدگی، در دو انتهای ناحیه اتصال بوجود می آید.

۳. با کاهش ضخامت چسب، Stiffness اتصال افزایش یافته و نیز مقادیر تنش های ماکزیمم برشی و پوسته پوسته شدگی در دو انتهای ناحیه اتصال بالا می رود.

٤. با افزایش طول ناحیه اتصال استحکام اتصال کاهش می یابد، بنابراین طول بهینه ای برای آن وجود دارد.

References:

[1] Stuartm Lee (Editor), International Encyclopedia of Composites, V.2, PP.509-524.

[2] ASTM D5868, Standard test method of lap shear Adhesion for Fiber Reinforced Plastic (FRP) bonding, American Society for testing of Materials, 2002.

[3] ASTM D3528, Standard test method for Strength Properties of Double lap shear Adhesive joints by Tension loading, American Society for testing of Materials, 2002.

[4] ASTM D2093, Standard Practice for Preparation of Surface of Plastics prior to Adhesive bonding, American Society for testing of Materials, 2002.

[5] Shiuh-chuan Her, Stress analysis of adhesively-bonded lap joints, Composite Structures, V.47, PP.673-678, 1999.

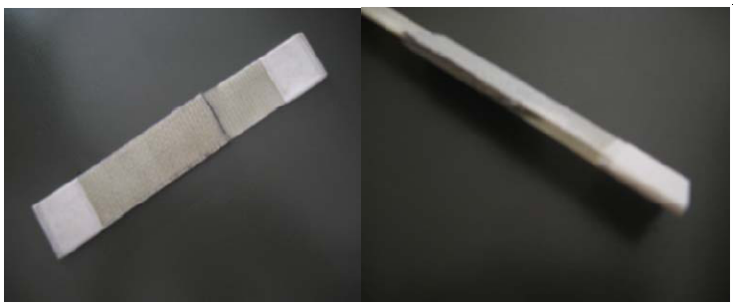
[6] Berry & Almedia, The influence of circular centered defects on the performance of carbon-epoxy single lap joints, Polymer testing, V. 21, PP.373-379, 2002.

[7] Matthews, Davies, Hitching & Soutis, Finite element modeling of composite materials and structures, Cambridge, 2000.

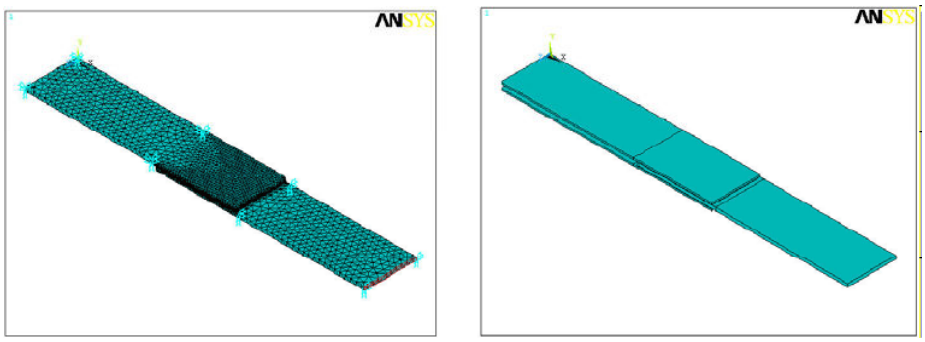
[8] Xiao, Foss & Schroeder, Stiffness prediction of the double lap shear joint. Part1: Analytical solution, International Journal of Adhesion & Adhesives, V.24, PP.229-237, 2004.

جدول 1- مشخصات رزین اپوکسی-هاردنر و الیاف فایبرگلاس

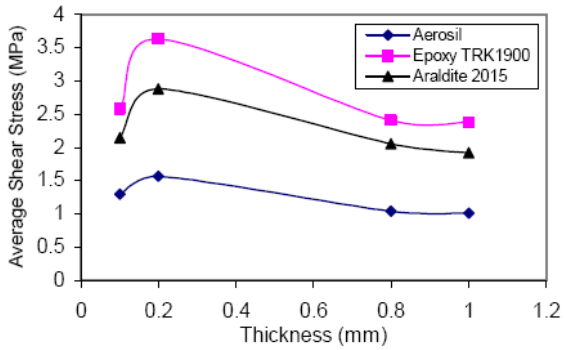
الیاف مورد استفاده $(Woven-fabric)$	$M=195gr/m^2$	$t=0.28mm$	$\rho=2.45gr/cm^3$
رزین اپوکسی و هاردنر	رزین : $ML-506(shell)$	هاردنر : $HA-11$	$\rho_{r-h}=1.11gr/cm^3$

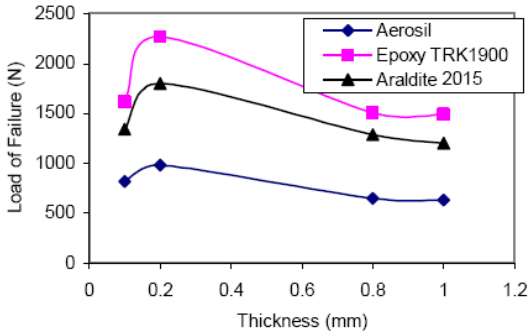


شکل 1- نمای شماتیک نمونه های Single & Double lap joint

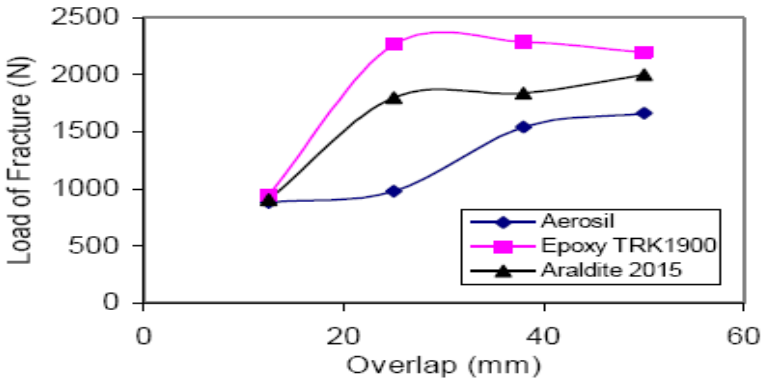


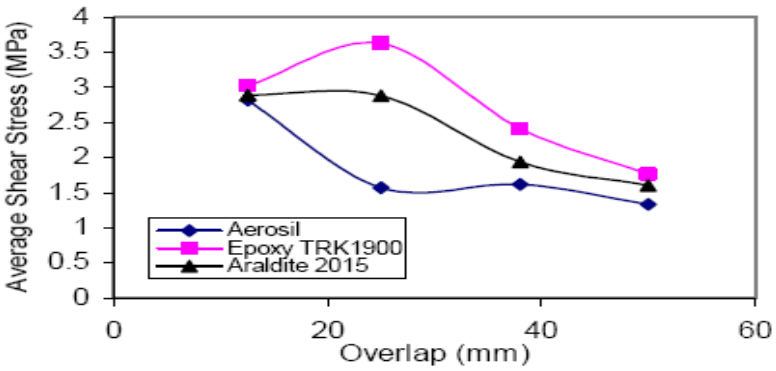
شکل 2- مدل کردن اتصالات توسط نرم افزار





نمودار ۱- میانگین زیرباز شکست و استحکام برشی اتصال یک لبه بر حسب ضخامت چسب در طول اتصال ۲۵ mm





نمودار ۲- میانگین زیرباز شکست و استحکام برشی اتصال یک لبه بر حسب طول اتصال در ضخامت چسب mm /۲