

بررسی اثر ضخامت بر استحکام چسبندگی مخلوط رزین-پودر سیلیکا مورد استفاده در ساخت قایق های تندرو کامپوزیتی و مقایسه با ضخامت کم با استفاده از تحلیل تجربی

احسان شیبانی^{۱*}، علی دهقانان^۲، مجید معمار^۳، امیر سپهری^۴

^۱کارشناس ارشد مهندسی هوافضا، Ehsan.sheibani1985@gmail.com

^۲دانشجوی دکترای مهندسی دریا، Ali_dehghanian@yahoo.com

^۳کارشناس ارشد مهندسی دریا، Majidkazeroon@gmail.com

^۴کارشناس ارشد مهندسی مکانیک، Amirsephri@rayana.ir

(تاریخ دریافت: ۹۶/۲/۲۰؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۳/۱۸)

چکیده

در این پژوهش، اثر ضخامت بر روی استحکام چسبندگی مخلوط رزین-پودر سیلیکا با استفاده از انجام تست بررسی می‌شود. امروزه، به دلیل وجود مزایای زیاد از سازه‌های کامپوزیتی زمینه‌پلیمری در صنایع مختلف از جمله صنایع دریایی بسیار استفاده می‌شود. اجزای اصلی برای ساخت سازه‌های کامپوزیتی زمینه‌پلیمری شامل رزین، تقویت‌کننده، چسب، پرکننده‌ها، هسته و ... می‌باشند. در بعضی از صنایع کامپوزیت برای کاهش ویسکوزیته رزین و اعمال آن در محل‌های شیبدار یا عمودی و یا استفاده در محل‌های دارای فضای خالی زیاد (به عنوان پرکننده)، از ترکیب رزین و پودر سیلیکا^۱ استفاده می‌شود. باید توجه داشت که از مخلوط رزین-پودر سیلیکا یا هر پرکننده‌ی دیگری، در هر ضخامت و تحت هر شرایط بارگذاری نمی‌توان استفاده نمود. در این پژوهش، از مخلوط رزین و پودر سیلیکا به عنوان آروزیل تعبیر می‌شود. با توجه به حساسیت موضوع، در این مقاله، با استفاده از ساخت نمونه‌های اتصال با بکارگیری آروزیل در ضخامت کمتر از ۱ میلی‌متر و ضخامت‌های ۶ و ۱۳ میلی‌متر و انجام تست مطابق استاندارد ASTM D5868 چسبندگی و استحکام اتصال بررسی و مقایسه می‌شود. آروزیل مورد استفاده، ترکیب رزین پلی‌استر B130 ساخت شرکت کهر بوشهر و پودر سیلیکا است. نتایج تست‌ها نشان دادند که چسبندگی آروزیل در ضخامت‌های ۶ و ۱۳ میلی‌متر، کاملاً متفاوت از چسبندگی آروزیل با ضخامت کمتر از ۱ میلی‌متر بوده و همچنین، با افزایش ضخامت، استحکام برشی و چقرمگی به شدت کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی

کامپوزیت زمینه‌پلیمری، اتصال، آروزیل، ضخامت، چسبندگی، الگوی شکست، استحکام برشی، چقرمگی.

Study of the effect of the thickness on the adhesion strength of mixture of resin-hydrophilic fumed silica used in manufacturing of composite high speed boats and comparing with small thickness using empirical study

Ehsan Sheibani¹, Ali Dehghanian², Majid Meamar³, Amir Sepehri⁴

¹master of science in aerospace engineering, Ehsan.sheibani1985@gmail.com

²PHD student in marine engineering, Ali_dehghanian@yahoo.com

³master of science in marine engineering, Majidkazeroon@gmail.com

⁴master of science in mechanical engineering, Amirsephri@rayana.ir

(Submitted: 2017/May/10; Accepted: 2017/May/29)

¹ Hydrophilic fumed silica

Abstract

This article examine the effect of thickness on the strength of adhesion of the mixture of resin-hydrophilic fumed silica using test. Now, composite structures because of many benefits, are used frequently in the various industries like marine industries. Main component for manufacturing of composite structures are resin, reinforcement, adhesive, fillers, core, etc. In some composite industries use the mixture of resin-hydrophilic fumed silica as a filler for reduction of resin viscosity and using in the slope region or vertical region or region with large gap. Notice that the mixture of resin-hydrophilic fumed silica or either fillers cannot be used in any thickness or loading conditions. In this article the mixture of resin-hydrophilic fumed silica referred by the name of Aerosil. In this article, three adhesive joint specimens with different are tested according to ASTM D5268 standard. In the experiments, adhesion and joint strength are examined. The Aerosil used in the manufacturing of test specimens, is the mixture of polyester resin B 130 of Kahar Company in Bushehr and hydrophilic fumed silica. Test results indicated that the adhesion of Aerosil in the thickness of 6, 13 millimeter are completely different from adhesion of Aerosil with the thickness less than 1 millimeter and also with the increase of Aerosil thickness, shear strength and toughness, reduce extremely.

Keywords

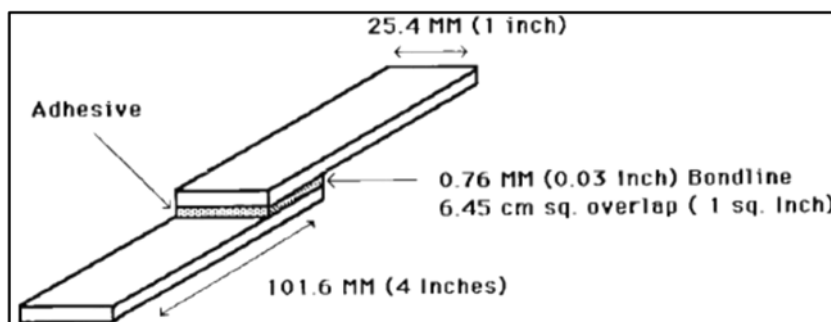
polymer base composite, joint, Aerosil, thickness, adhesion, fracture pattern, shear strength, toughness.

۱- مقدمه

سازه‌های کامپوزیتی زمینه‌پلیمری به دلیل نسبت استحکام به وزن بالا و قابلیت طراحی برای تحمل بارگذاری در مسیرهای گوناگون، مورد توجه صنایع مختلف هستند. در این نوع سازه‌ها، رزین یکی از مهم‌ترین اجزاء محسوب می‌شود. وظیفه‌ی رزین، حفظ یکپارچگی سازه و نگه داشتن الیاف و پارچه‌ها در کنار هم و همچنین، محافظت از الیاف در برابر عوامل مخرب بیرونی و همچنین، انتقال بار به الیاف است. یکی از موادی که معمولاً برای کاهش ویسکوزیته رزین استفاده می‌شود، پودر سیلیکا است. پودر سیلیکا جزء پرکننده‌ها محسوب می‌شود. در برخی از صنایع کامپوزیت، از مخلوط رزین-پودر سیلیکا در نواحی دارای فضای خالی زیاد برای پر کردن شکاف‌ها (گپ‌ها) یا در محل اتصالات استفاده می‌کنند. اما باید توجه نمود که با ترکیب پودر سیلیکا و رزین، استحکام برشی رزین دچار افت می‌شود. بنابراین، با توجه به ماهیت سازه‌های کامپوزیتی زمینه‌پلیمری، نمی‌توان از مخلوط رزین و پودر سیلیکا در هر محل یا هر شرایط بارگذاری استفاده نمود. از طرف دیگر، در اعمال رزین یا مخلوط رزین-پودر سیلیکا، باید به این نکته توجه نمود که افزایش ضخامت یا انباشتگی رزین با افزایش دمای اگزوترم (دمای ناشی از فعل و انفعالات شیمیایی طی پروسه‌ی پخت رزین) روبرو است. افزایش دمای اگزوترم برای سازه مخرب است و می‌تواند سبب ایجاد تنش حرارتی در سازه شود. از سوی دیگر با افزایش مقدار انباشتگی رزین، پس از انجام فرایند پخت، انقباض^۲ رزین شدیدتر بوده و در نتیجه تنش پسماند بزرگ‌تری در سازه ایجاد می‌گردد. با توجه به مطالب مذکور، انتظار می‌رود که با افزایش مقدار ضخامت اروزیل

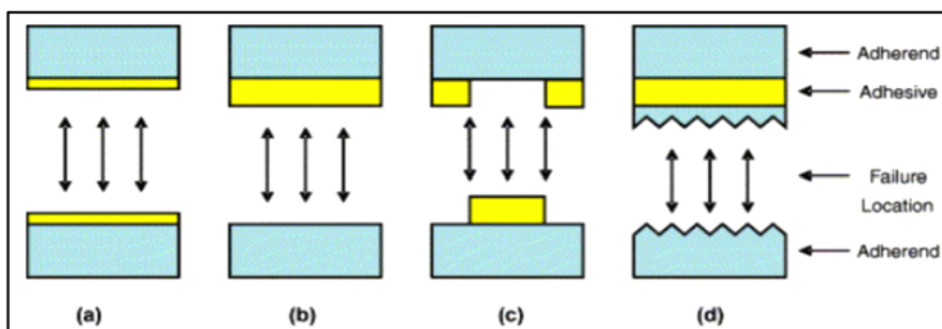
در اتصالات نسبت به ضخامت کم، چسبندگی و استحکام برشی دچار افت و تغییر شود. برای بررسی اثر ضخامت بر چسبندگی و استحکام برشی اروزیل، از استاندارد ASTM D5868 استفاده شده است [۱]. طبق این استاندارد، نمونه‌های مورد تست باید مطابق شکل ۱ آماده‌سازی شوند. برای انجام تست‌ها، لمینت نمونه‌ها باید طوری ساخته شوند که از استحکام لازم برخوردار بوده تا در هنگام تست، قبل از اروزیل اعمالی بین دو لمینت دچار گسیختگی نشود [۲]. پس از ساخت نمونه‌ها و انجام تست‌های مورد نیاز بر روی آنها، تحلیل و آنالیز استحکامی انجام می‌شود. آنالیز استحکامی اروزیل شامل سه مرحله است. اولین مرحله، بررسی الگوی شکست در ناحیه اتصال است. الگوی شکست در ناحیه اتصال، نشان‌دهنده‌ی استحکام چسبندگی است. استحکام چسبندگی به معنای توانایی برقراری اتصال مکانیکی و شیمیایی چسب موردنظر با نمونه‌های کامپوزیتی است. در شکل ۲ الگوهای شکستی که ممکن است در ناحیه اتصال رخ دهد، نشان داده شده است [۳]. چنانچه از شکل ۲ مشاهده می‌شود، چهار نوع الگوی شکست ممکن است در ناحیه اتصال چسبی پدید آید. الگوی شکست نوع b (گسیختگی از ناحیه‌ی فصل مشترک چسب و نمونه) نشان‌دهنده‌ی ضعیف‌ترین اتصال و الگوی شکست نوع d (گسیختگی از دورن لایه‌های لمینت نمونه) نشان‌دهنده‌ی قوی‌ترین چسبندگی می‌باشد.

دومین مرحله از تحلیل آنالیز استحکامی، بررسی نیروی شکست در ناحیه اتصال است. در واقع بررسی نیروی شکست در ناحیه اتصال نشان‌دهنده‌ی استحکام برشی چسب مورد استفاده است. سومین مرحله از آنالیز استحکامی در این پژوهش، بررسی تغییرات چقرمگی اروزیل با افزایش ضخامت آن است.



شکل (۱): شماتیک نمونه‌ی استاندارد تست استحکام برشی چسب‌ها طبق استاندارد ASTM D5868.

² Shrinkage



شکل (۲): الگوهای شکست احتمالی در ناحیه اتصال چسبی.

یونیورسال ساخت شرکت شیمادزو ژاپن، تحت آزمون قرار گرفتند. در شکل ۳ این نمونه‌ها در هنگام انجام تست نشان داده شده‌اند.

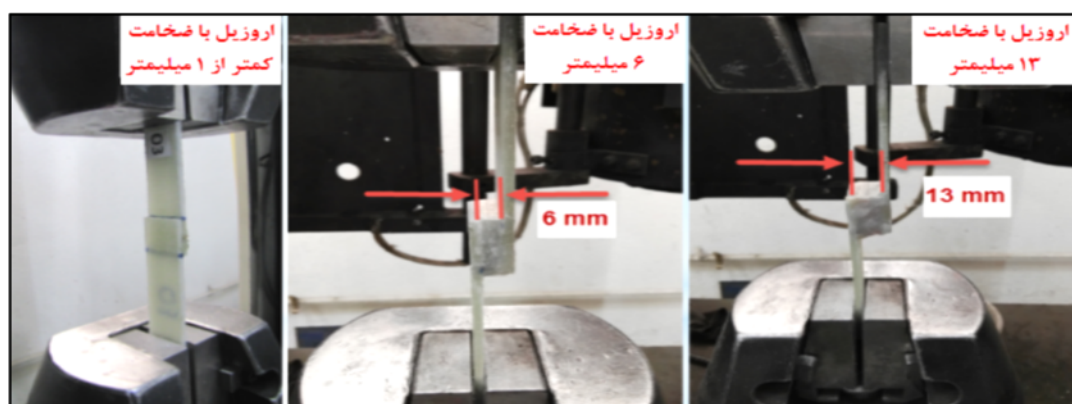
۳- تحلیل و آنالیز نتایج تست نمونه‌ها

چنانچه گفته شد پس از تست نمونه‌ها مطابق استاندارد، از سه دیدگاه استحکام و چسبندگی و چقرمگی، نمونه‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرند. ابتدا الگوی شکست در ناحیه اتصال بررسی می‌شود که نشان‌دهنده‌ی کیفیت و استحکام چسبندگی در برقراری اتصال ثانویه بین آروزیل و لمینت نمونه بوده و سپس، استحکام برشی و چقرمگی آروزیل در ناحیه پیوند بررسی می‌شود.

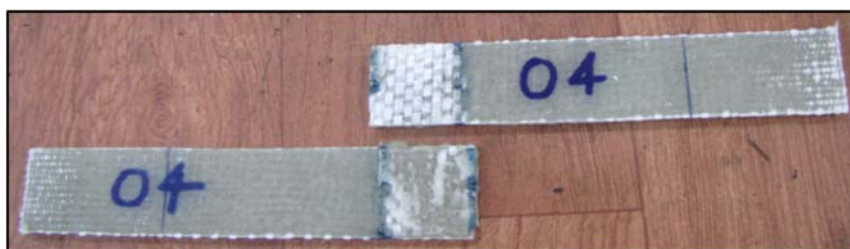
۳-۱- بررسی الگوی شکست در ناحیه اتصال آروزیل با ضخامت کمتر از ۱ میلی‌متر، ۶ میلی‌متر و ۱۳ میلی‌متر در شکل ۴ الگوی شکست برای آروزیل با ضخامت کمتر از ۱ میلی‌متر نشان داده شده است.

۲- ساخت و تست نمونه‌ها

ساخت نمونه‌ها برای انجام تست، شامل دو مرحله است (ساخت نمونه‌های کامپوزیتی و اتصال آنها به هم). در مرحله اول لمینت نمونه‌ها که قرار است با آروزیل به هم متصل شوند، ساخته می‌شوند. لمینت نمونه‌ها باید طوری باشند که در هنگام تست قبل از آروزیل دچار گسیختگی نشوند. بنابراین، لمینت نمونه‌ها در این پژوهش از ۱۲ لایه الیاف شیشه‌ی ۴۰۰ گرمی با آرایش الیاف (۰-۹۰) درجه (EWR 400 (0-90)) و با استفاده از رزین پلی‌استر B130 ساخت شرکت کهر بوشهر ساخته شدند. پس از ساخت نمونه‌ها و برش آنها مطابق ابعاد مذکور در استاندارد ASTM D5868، نمونه‌ها با استفاده از آروزیل، در سه ضخامت کمتر از ۱ میلی‌متر (ضخامت استاندارد) و ۶ میلی‌متر و ۱۳ میلی‌متر با رعایت شرایط استاندارد، به هم اتصال داده شدند. مقدار ترکیب آروزیل با سخت‌کننده (هاردنر) مطابق برگه‌ی اطلاعاتی (دیتاشیت) ارائه‌شده توسط شرکت سازنده انجام شد. در مجموع ۱۵ نمونه (برای هر ضخامت ۵ نمونه) با استفاده از دستگاه تست کشش



شکل (۳): انجام تست کشش بر روی نمونه‌های اتصال با آروزیل به ضخامت کمتر از ۱ میلی‌متر، ۶ و ۱۳ میلی‌متر.



شکل (۴): الگوی شکست در اتصال به وسیله‌ی اروزیل با ضخامت کمتر از ۱ میلی‌متر.

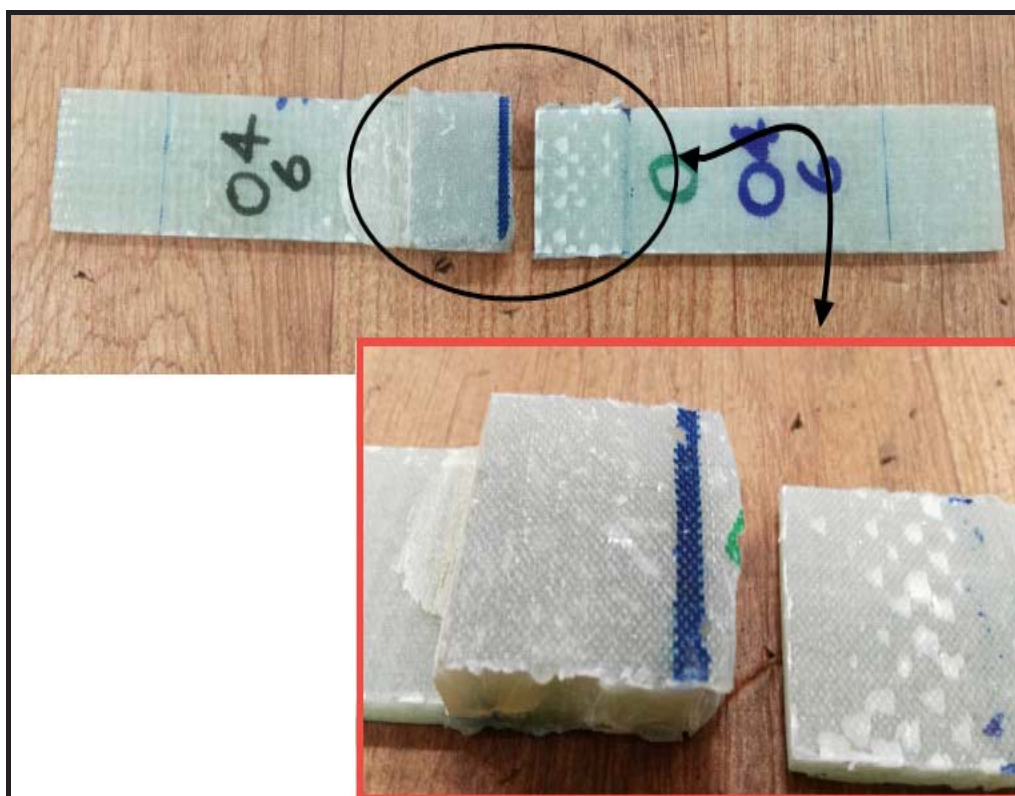
نمونه‌های اتصال اروزیل با ضخامت ۶ میلی‌متر مشابه هم و طبق شکل ۵ است.

چنانچه از شکل ۵ مشاهده می‌شود الگوی شکست برای اروزیل با ضخامت ۶ میلی‌متر از نوع b در شکل ۲ است. این الگوی شکست نشان می‌دهد که چسبندگی اروزیل با ضخامت ۶ میلی‌متر با لمینت نمونه مناسب نبوده و در اثر اعمال بار، شکست در ناحیه اتصال رخ داده است.

در شکل ۶، الگوی شکست برای اروزیل با ضخامت ۱۳ میلی‌متر نشان داده شده است. الگوی شکست برای تمامی نمونه‌های اتصال اروزیل با ضخامت ۱۳ میلی‌متر مشابه هم و طبق شکل ۶ است.

الگوی شکست برای تمامی نمونه‌های اتصال اروزیل با ضخامت کمتر از ۱ میلی‌متر مشابه هم و طبق شکل ۴ می‌باشد. چنانچه از الگوی شکست برای اتصال اروزیل با ضخامت کمتر از ۱ میلی‌متر مشاهده می‌شود، الگوی شکست به صورت ترک‌خوردگی در لمینت نمونه و مطابق نوع d در شکل ۲ رخ داده است. این نوع الگوی شکست بدین معنا است که اتصال مکانیکی و شیمیایی مناسبی بین اروزیل با این ضخامت و لمینت نمونه‌ها برقرار شده است.

در شکل ۵، الگوی شکست برای اروزیل با ضخامت ۶ میلی‌متر نشان داده شده است. الگوی شکست برای تمامی



شکل (۵): الگوی شکست در اتصال به وسیله‌ی اروزیل با ضخامت ۶ میلی‌متر.



شکل (۶): الگوی شکست در اتصال به وسیله‌ی اروزیل با ضخامت ۱۳ میلی‌متر.

با ضخامت ۶ میلی‌متر و ۱۳ میلی‌متر می‌باشد. از طرف دیگر، نیروی شکست برای نمونه‌های اروزیل با ضخامت ۶ میلی‌متر نیز بیشتر از نیروی شکست برای اروزیل با ضخامت ۱۳ میلی‌متر است. بنابراین، با افزایش ضخامت اروزیل، استحکام برشی به شدت کاهش یافته است. در نمودار شکل ۷ استحکام برشی برای اروزیل با ضخامت کمتر از ۱ میلی‌متر، ۶ میلی‌متر و ۱۳ میلی‌متر با هم مقایسه شده‌اند.

۳-۳- مشاهده تغییرات چقرمگی با افزایش ضخامت اروزیل

چقرمگی^۳ به معنای قابلیت ارتجاعی ماده جهت جلوگیری از شکل‌گیری ترک و رشد آن و یا توانایی ماده در جلوگیری از گسیختگی ترد^۴ است و طبق تعریف سطح زیر نمودار بار-جابجایی بیانگر چقرمگی می‌باشد.

چنانچه از شکل ۶ مشاهده می‌شود، الگوی شکست در اتصال با اروزیل با ضخامت ۱۳ میلی‌متر از نوع C در شکل ۲ است. این نوع گسیختگی، یک مد ترکیبی بوده و به صورت شکست ترد در خود اروزیل و در ناحیه اتصال بین اروزیل و لمینت نمونه می‌باشد.

۲-۳- بررسی استحکام برشی در ناحیه اتصال برای اروزیل با ضخامت کمتر از ۱ میلی‌متر، ۶ میلی‌متر و ۱۳ میلی‌متر

در جدول ۱ مقدار حداکثر نیرو، حداکثر افزایش طول و استحکام برشی برای نمونه‌های اروزیل با ضخامت کمتر از ۱ میلی‌متر، ۶ میلی‌متر و ۱۳ میلی‌متر آورده شده است. چنانچه از مقادیر جدول ۱ مشاهده می‌شود، مقدار نیروی شکست برای اروزیل با ضخامت استاندارد کمتر از ۱ میلی‌متر بسیار بیشتر از مقدار نیروی شکست برای اروزیل

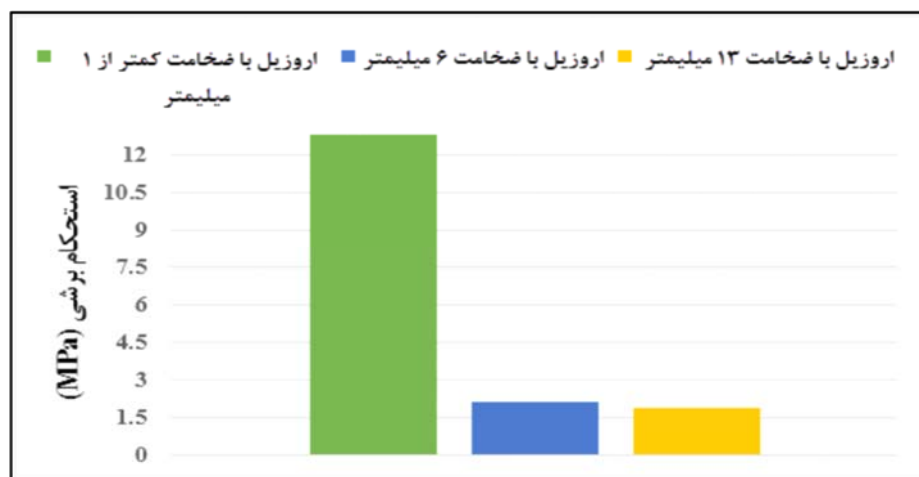
جدول (۱): مقادیر استحکامی نمونه‌های اتصال با اروزیل به ضخامت کمتر از ۱ میلی‌متر، ۶ میلی‌متر و ۱۳ میلی‌متر.

کد نمونه	حداکثر نیرو (kgf)	افزایش طول (mm)	استحکام برشی (MPa)	میانگین استحکام برشی (MPa)
نمونه اول اروزیل با ضخامت کمتر از ۱ میلی‌متر	۸۳۱	۲/۳۷	۱۳	
نمونه دوم اروزیل با ضخامت کمتر از ۱ میلی‌متر	۷۶۶	۲/۱۲	۱۲	

⁴ brittle

³ toughness

	۱۴	۲/۴۴	۸۸۲	نمونه سوم اروزیل با ضخامت کمتر از ۱ میلی‌متر
	۱۲	۲/۵۸	۸۰۱	نمونه چهارم اروزیل با ضخامت کمتر از ۱ میلی‌متر
	۱۳/۳	۲/۳۱	۸۵۰	نمونه پنجم اروزیل با ضخامت کمتر از ۱ میلی‌متر
	۱/۸۶	۰/۹۸	۱۱۹	نمونه اول اروزیل با ضخامت ۶ میلی‌متر
	۲/۵	۱/۱۴	۱۶۷	نمونه دوم اروزیل با ضخامت ۶ میلی‌متر
	۲	۰/۹۶	۱۳۰	نمونه سوم اروزیل با ضخامت ۶ میلی‌متر
	۲	۱/۱۷	۱۳۵	نمونه چهارم اروزیل با ضخامت ۶ میلی‌متر
	۲/۳	۱/۱۱	۱۵۰	نمونه پنجم اروزیل با ضخامت ۶ میلی‌متر
	۱/۶	۱/۶۵	۱۰۲	نمونه اول اروزیل با ضخامت ۱۳ میلی‌متر
	۱/۹	۲/۰۸	۱۲۱	نمونه دوم اروزیل با ضخامت ۱۳ میلی‌متر
	۲	۲/۲۳	۱۳۰	نمونه سوم اروزیل با ضخامت ۱۳ میلی‌متر
	۲/۱	۲/۳۷	۱۴۰	نمونه چهارم اروزیل با ضخامت ۱۳ میلی‌متر
	۱/۹	۱/۹۵	۱۲۵	نمونه پنجم اروزیل با ضخامت ۱۳ میلی‌متر



شکل (۷): مقایسه استحکام برشی برای اروزیل با ضخامت کمتر از ۱ میلی‌متر، ۶ میلی‌متر و ۱۳ میلی‌متر.

پژوهش بررسی شدند، شامل سه دسته ضخامت کمتر از ۱ میلی‌متر، ۶ میلی‌متر و ۱۳ میلی‌متر بودند. پس از تست نمونه‌های ساخته‌شده، از سه دیدگاه، نمونه‌ها مورد تحلیل قرار گرفتند.

الف- بررسی الگوی شکست در ناحیه اتصال که نشان‌دهنده‌ی میزان و کیفیت چسبندگی است:

پس از تست نمونه‌ها، الگوی شکست در ناحیه پیوند بررسی شد. مشاهدات صورت‌گرفته نشان دادند که الگوی شکست در اروزیل با ضخامت کمتر از ۱ میلی‌متر به صورت ترک‌خوردگی و تورق در لمینت نمونه است که نشان‌دهنده‌ی وجود چسبندگی مناسب بین اروزیل و لمینت نمونه‌ها است. الگوی شکست در اروزیل با ضخامت ۶ میلی‌متر و ۱۳ میلی‌متر شبیه هم و به صورت

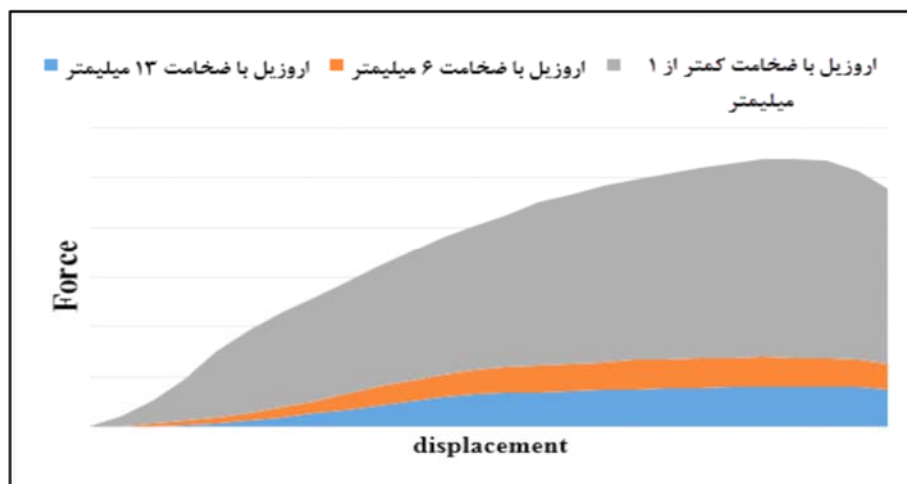
در نمودار شکل ۸ سطح زیر نمودار بار-جابجایی برای اروزیل با ضخامت کمتر از ۱ میلی‌متر، ۶ میلی‌متر و ۱۳ میلی‌متر با هم مقایسه شده‌اند. چنانچه از نمودار شکل ۸ مشاهده می‌گردد با افزایش ضخامت اروزیل، سطح زیر نمودار بار-جابجایی کاهش پیدا کرده است. این بدین معنا است که با افزایش ضخامت اروزیل، چقرمگی کاهش می‌یابد و در نتیجه ترک‌خوردگی در اتصال، به صورت ترد بوده و ترک با سرعت بیشتری رشد می‌کند.

۴- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این پژوهش، اثر ضخامت یا مقدار انباشتگی اروزیل در ناحیه‌ی اتصال، بر روی چسبندگی و استحکام اروزیل و استحکام اتصال بررسی شد. ضخامت‌هایی که در این

ب- بررسی استحکام برشی در ناحیه‌ی اتصال برای اروزیل با ضخامت کمتر از ۱ میلی‌متر، ۶ میلی‌متر و ۱۳ میلی‌متر: نتایج تست‌های استاندارد برای نمونه‌های اتصال با اروزیل نشان دادند که با افزایش ضخامت اروزیل، استحکام برشی به شدت آفت می‌کند طوری که استحکام برشی برای اروزیل با ضخامت کمتر از ۱ میلی‌متر برابر ۱۲/۸ مگاپاسکال، برای اروزیل با ضخامت ۶ میلی‌متر برابر ۲/۱۳ مگاپاسکال و برای اروزیل با ضخامت ۱۳ میلی‌متر برابر ۱/۹ مگاپاسکال به دست آمد.

ترک خوردگی در سطح مشترک اروزیل با لمینت نمونه است. این نوع الگوی شکست نشان‌دهنده‌ی عدم وجود چسبندگی مناسب بین اروزیل و لمینت نمونه است. بنابراین، مشاهده‌ی الگوی شکست برای اروزیل با ضخامت‌های کمتر از ۱ میلی‌متر، ۶ میلی‌متر و ۱۳ میلی‌متر نشان داد که با افزایش ضخامت، چسبندگی به شدت آفت می‌کند. این اتفاق شاید به خاطر افزایش دمای اگزوترم در اثر انباشتگی اروزیل باشد. افزایش دمای اگزوترم می‌تواند سبب ایجاد تنش حرارتی شود. از طرف دیگر، پس از پخت اروزیل در ضخامت‌های ۶ و ۱۳ میلی‌متر، میزان انقباض آن بیشتر بوده و در نتیجه، تنش پسماند در اتصال ایجاد شده است.



شکل (۸): سطح زیر نمودار بار-جابجایی (چقرمگی).

دچار آفت و تغییرات شدید می‌شود. در واقع، با افزودن پُرکننده‌ای مانند پودر سیلیکا به رزین، خواص برشی آن دچار آفت شده و بنابراین، باید محتاط بود که از این مخلوط در نواحی با بارگذاری کششی یا برشی و در ضخامت‌های زیاد و نواحی با فضای خالی و گپ زیاد استفاده نشود.

مراجع

- [1] Epoxy Adhesive Application Guide, www.EPOTEK.com.
- [2] ASTM Designation: D 5868-01, "Standard test method for lap shear adhesion for fiber reinforced plastic (FRP) bonding".
- [3] Michael J. H., "Adhesive bonding of composites," Abaris Training Inc., 1-800-638-8441.

ج- بررسی تغییرات چقرمگی با افزایش ضخامت اروزیل: بررسی تغییرات چقرمگی با افزایش ضخامت اروزیل نشان داد که با افزایش ضخامت اروزیل، مقدار چقرمگی به شدت کاهش می‌یابد طوری که چقرمگی اروزیل در ناحیه اتصال برای ضخامت کمتر از ۱ میلی‌متر بیشترین بوده و با افزایش ضخامت مقدار اروزیل در ناحیه اتصال، چقرمگی دچار آفت شدید شد. همچنین مشاهدات حین تست، نشان داد که ترک خوردگی در ناحیه اتصال با اروزیل به ضخامت ۶ میلی‌متر و ۱۳ میلی‌متر، به صورت کاملاً ترد و ناگهانی است.

نتیجه‌ای که از انجام تست‌های این پژوهش می‌توان گرفت این است که اگرچه استحکام مخلوط رزین-پودر سیلیکا در ضخامت‌های خیلی کم قابل قبول می‌باشد ولی با افزایش ضخامت، نتایج استحکامی کاملاً متفاوت بوده و