Archive of SID

شانزدهمین سمینار ملی مهندسی سطح

بهمن‌ماه ۱۳۹۴

انجمن علوم و تکنولوژی سطح ایران

ساخت پوشش آبگریز کامپوزیتی روی سطح آلومینیوم

امیرحسین شیخعلی[۱]، علیرضا فرزانه[۲]، سجاد بورقان فراهان[۳]

[۱]. دانشگاه صنعتی مالک اشتر (دانشجوی دکتری مهندسی مواد)

[۲]. دانشگاه صنعتی مالک اشتر (کارشناسی ارشد مهندسی مواد)

[۳]. دانشگاه تربیت مدرس (کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک)

چکیده

روش‌های مختلفی برای ساخت سطوح آبگریز بکار برده شده است. از مهم‌ترین و کاربردی‌ترین راه‌های ساخت یک ماده آبگریز، تولید یک کامپوزیت پلیمری آبگریز است. به‌این‌ترتیب که به بستر پلیمری موردنظر یک فیلر (پُرکننده) آبگریز یا فوق آبگریز افزوده شود سیلیکا ایروژل‌ها خواص آبگریزی زیادی از خود نشان می‌دهند و با خاصیت عایق حرارتی و گرمایی بسیار عالی شناخته شده‌اند. با توجه به آب‌دوست بودن پلی‌استر، می‌توان با افزودن ایروژل آبگریز به آن، میزان آبگریز بودن پلی‌استر را افزایش داد و درنهایت به یک کامپوزیت آبگریز دست یافت. بیشترین خاصیت آبگریزی مربوط به رزین پلی استر حاوی پودر سیلیکا ایروژل برابر با ۹۸,۶۳ درجه است. مدول الاستیسیته این کامپوزیت براساس آزمون کشش معادل ۴/۲GPa بدست آمد. درحالیکه بیشترین زاویه تماس قطره روی کامپوزیت اپوکسی سیلیکا ایروژل برابر با ۹۶,۷ درجه است. مدول الاستیسیته این کامپوزیت براساس آزمون کشش معادل ۳/۵GPa بدست آمد که کمتر از رزین پلی استر است. بر اساس آزمایش‌های آبگریزی و بررسی خواص مکانیکی صورت گرفته، می‌توان دریافت که کامپوزیت‌های فوق قابلیت کاربرد برای ایجاد سطوح آبگریز را دارند. اگرچه این بررسی‌ها به تنهایی برای این ادعا کافی نبوده و مراحل تکمیلی آن در حال حاضر در حال انجام می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: پوشش آبگریز؛ آلومینیوم، هیدروژل؛ پلی استر؛ اپوکسی؛

[1]. Sheikhali.85@gmail.com

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

برای بهبود مقاومت در برابر خوردگی، سطوح با خاصیت آبگریزی ساخته شده که گسترش خوردگی را به‌خصوص در محیط مرطوب کاهش داده است. سطح فوق‌العاده آبگریز با انرژی آزاد سطح کم می‌تواند مقاومت در برابر خوردگی فلزات را بهبود بخشد. بنابراین ساخت فیلم پایدار فوق‌العاده آبگریز روی آلیاژ آلومینیوم به‌عنوان اصلاح‌کننده مقاومت در برابر خوردگی شناخته شده است [۱].

روش‌های مختلفی برای ساخت سطوح آبگریز بکار برده شده است. از مهم‌ترین و کاربردی‌ترین راه‌های ساخت یک ماده آبگریز، تولید یک کامپوزیت پلیمری آبگریز است. به‌این‌ترتیب که به بستر پلیمری موردنظر یک فیلر (پرکننده) آبگریز یا فوق آبگریز افزوده شود. انتخاب بستر تا حد زیادی به شرایط کاری بستگی دارد. ایروژل‌ها موادی فوق سبک با ساختار سلولی باز هستند که با توجه به امکان دستیابی به تخلخل بسیار بالا می‌توان از آن‌ها در تولید کامپوزیت‌های سبک و با خواص منحصربه‌فرد استفاده کرد. خواص مطلوب ایروژل‌ها عبارتند از: عایق الکتریکی خوب، ضریب دی‌الکتریک کنترل‌شده، عایق حرارتی فوق‌العاده و غیره.

در صورت افزودن ایروژل به بستر رزین، می‌توان این انتظار را داشت که هم سازه پلی‌استری ما بسیار سبک شود و هم، همزمان مقاومت ضربه‌ای آن بالا رود، از طرفی با توجه به خاصیت ایروژل‌ها، کاهش ضریب انتقال حرارت را نیز خواهیم داشت، یعنی مقاومت حرارتی کامپوزیت افزایش می‌یابد و می‌توان انتظار داشت مقاومت تسلیم در برابر فشار نیز افزایش یابد، که در واقع می‌توان این افزایش در "مقاومت تسلیم در برابر فشار" را به جلوگیری از شروع و رشد ترک توسط ایروژل‌ها نسبت داد [۲].

از بین ایروژل‌های مختلف، سیلیکا ایروژل مناسب‌ترین و در دسترس‌ترین ایروژل جهت انجام کار است. سیلیکا ایروژل در دو نوع آب‌دوست و آبگریز در دسترس می‌باشد. با توجه به آب‌دوست بودن پلی‌استر، می‌توان با افزودن ایروژل آبگریز به آن، میزان آبگریز بودن پلی‌استر را افزایش داد و درنهایت به یک کامپوزیت آبگریز دست یافت. دستیابی به یک کامپوزیت آبگریز با بستری از پلی‌استر، می‌تواند کاربرد عمده‌ای در پوشش‌های سطحی داشته باشد، برای مثال، پوشش سطح خارجی قطعات که از کامپوزیت پلی‌استر تهیه شده، در تماس شدیدی با محیط مرطوب و درنتیجه محیط خورنده قرار دارد و اگر بجای کامپوزیت‌های متداول، از کامپوزیت آبگریز استفاده شود، عمر لایه پوششی خارجی تا حد زیادی افزایش می‌یابد. خواص صوتی آن نیز به‌گونه‌ای است که می‌تواند امواج را جذب کرده و سرعت آن‌ها را کاهش دهد. بنابراین به نظر می‌رسد که در صنعت هوافضا به‌صورت انبوه کاربرد داشته باشد.

ایروژل‌ها خواص فیزیکی، حرارتی و نوری قابل‌توجهی از خود نشان می‌دهند. به‌منظور بهبود انعطاف‌پذیری، تقویت فیبر یا فرآیند اتصال عرضی (کراس لینک کردن) را می‌توان در این ماده انجام داد. استحکام فشاری ویژه ایروژل کراس لینک شده از فولاد، آلومینیوم و فایبرگلاس بیشتر است و با کامپوزیت گرافیک مورد استفاده در صنایع هوافضا قابل مقایسه است. مدول الاستیک نسبتاً بالا و استحکام فشاری مطلوب به همراه هدایت حرارتی پایین باعث شده تا سیلیکا ایروژل‌ها تبدیل به موادی با چند کاربرد برای کاربردهای متفاوت نظیر تانک‌های

www.SID.ir

Archive of SID

سوخت برودتی شده باشند. از مشخصات مکانیکی ایروژل‌ها مشخص است که این مواد دارای خواص خوب فشاری، کششی و برشی هستند و نیز انتقال حرارتی پایینی نیز دارند. نمونه‌های ایروژل نهایتاً در ۷۷٪ تنش فشاری دارای استحکام فشاری نهایی ۱۸۶ MPaهستند [۳].

تلاش‌های هماهنگی برای بهبود استحکام مکانیکی ایروژل با افزودن فاز دوم به آن انجام شده است. یکی از این روش‌ها از طریق ترکیب الیاف سیلیکا به ایروژل است. آزمایش‌ها نشان می‌دهد که زمانی که ۱۰٪ وزن از این الیاف اضافه شده است، مدول و استحکام الاستیک ۸۵٪ و ۲۶٪ به ترتیب افزایش یافته است [۴]. ساده‌ترین راه افزایش قدرت ایروژل‌ها افزایش چگالی این مواد است. رویکرد دیگر در تقویت سیلیکا ایروژل استفاده از یک روند پیری است، که می‌تواند به روش‌های مختلف رخ دهد. طی این فرآیندها مدول الاستیک محصولات ایروژل نهایی تقریباً ۲ درجه افزایش یافته است. تقویت پلیمر تأثیر قابل‌توجهی در انتقال حرارت از سیلیکا ایروژل ندارد [۵].

مواد و روش تحقیق

روش کار در فرآیند ساخت کامپوزیت (پلی‌استر یا اپوکسی)/ سیلیکا ایروژل تقریباً مشابه سایر کامپوزیت‌ها است. ابتدا رزین پلی‌استر/ اپوکسی را به همراه عامل سخت‌کننده مخصوص آن تهیه می‌کنیم. در مورد سیلیکا ایروژل هم می‌توان به‌صورت آماده آن را تهیه کرد و هم می‌توان در محیط آزمایشگاهی آن را تولید نمود. البته بایستی دقت شود که در هر دو مورد به سیلیکا ایروژل آبگریز نیاز می‌باشد. پس از تهیه مواد اولیه، اساسی‌ترین قسمت کار، پودر کردن گرانول‌های سیلیکا ایروژل است. باید پودری یکدست و در ابعاد نانو (کمتر از ۲۰۰ نانومتر و بیشتر از ۲۰ نانومتر) داشته باشیم. برای این کار از آسیاب ماهواره‌ای استفاده می‌شود. پس از پودر شدن ایروژل‌ها و اطمینان از اندازه موردنظر آن‌ها، فرآیند تولید کامپوزیت آغاز می‌شود.

با توجه به درصدهای جرمی هدف‌گذاری شده از قبل، سیلیکا ایروژل را با رزین مخلوط می‌کنیم و با استفاده از همزن مکانیکی و با شدت نسبتاً بالا سعی می‌کنیم به بالاترین و یکنواخت‌ترین توزیع برسیم. حال باید حباب زدایی انجام شود که این کار را با استفاده از یک آون انجام می‌دهیم. پس از عدم وجود حباب، سخت‌کننده را اضافه کرده و منتظر پخت کامل رزین می‌مانیم. پس‌ازآن کامپوزیت (پلی‌استر/ اپوکسی)/ سیلیکا ایروژل بدست می‌آید و روی سطح قطعه آلومینیومی اعمال می‌شود. درنهایت می‌بایست آزمایش‌های مختلفی روی این کامپوزیت‌ها انجام شود تا از خواص آبگریزی آن اطلاع حاصل شود.

تست آبگریزی[1] نمونه‌های ساخته شده

آبگریزی یک پدیده فیزیکی در مولکول‌ها است که از آب دوری می‌کنند. مولکول‌های آبگریز غیر قطبی هستند و به همین خاطر تمایل به دیگر مولکول‌ها و حلال‌های غیر قطبی دارند. این مولکول‌های آبگریز در درون

[1] Hydrophobic Test

www.SID.ir

Archive of SID

آب، به‌هم‌پیوسته و تشکیل می‌دهند. متقابلاً آب بر روی سطوح هیدروفوب زاویه تماس بسیار بزرگی به خود می‌گیرد و به شکل قطره‌های کروی درمی‌آید. مثال‌هایی از مولکول آبگریز شامل نفت، روغن و چربی می‌باشند. طبق اصول ترمودینامیک، ذرات به سطوح پایین‌تر انرژی تمایل دارند. آب یک مولکول قطبی است و از خصلت‌های شگرف آن این است که توانایی ایجاد پیوند هیدروژنی دارد. اما مولکول‌های آبگریز به علت غیر قطبی بودن نمی‌توانند با مولکول‌های آب پیوندی ایجاد کنند. در نتیجه از هم دور شده تا جایی که مولکول‌های آب باهم پیوند ایجاد می‌کنند، سطوح برخورد بین دو نوع مولکول به کمینه و حداقل رسیده و پدیده جداشدگی ایجاد می‌شود.

زاویه تماس در بحث آبگریزی به زاویه‌ای گفته می‌شود که آخرین لبه یک مایع با سطح زیرین خود ایجاد می‌کند. هر چه این زاویه بزرگ‌تر باشد، نسبت آبگریز بین دو ماده بیشتر است. مثلاً قطره آب بر روی برگ نیلوفر آبی حجم کروی‌تری به خود گرفته و زاویه بازتری ایجاد می‌کند. هرچه این زاویه بازتر باشد احتمال تر شدن سطح زیرین کم‌تر می‌شود.

در این قسمت از فرایند ساخت، از نمونه‌های ساخته شده در آزمایشگاه تست آبگریزی گرفته شده که این کار در آزمایشگاه سیستم‌های اندازه‌گیری (گروه ساخت و تولید دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه تربیت مدرس) انجام شده است. برای این منظور از دوربین دیجیتال استفاده شده که پس از گرفتن عکس از قطره با وضوح بالا، این تصویر را توسط نرم‌افزار (نرم‌افزار مخصوص دوربین) و با استفاده از سه‌نقطه پردازش کرده و زاویه تماس قطره با سطح اندازه‌گیری می‌شود. برای انداختن قطرات روی سطوح ساخته شده و سپس عکس گرفتن از آن‌ها و پردازش آنها، از وسیله‌ای تحت عنوان تفنگ چکاندن قطره استفاده شده است.

مراحل کار بدین‌صورت است که ابتدا دوربین را با استفاده از پورت مخصوص به کامپیوتر متصل می‌کنیم. لازم به ذکر است که این دوربین فوق‌العاده حساس بوده و بدون نرم‌افزار مربوطه کارآیی ندارد به همین دلیل بایستی برای گرفتن عکس و روشن شدن نور دوربین (برای کیفیت عکس)، دوربین را به کامپیوتر وصل می‌کنیم و نرم‌افزار را اجرا نموده تا از اتصال سخت‌افزار به نرم‌افزار اطمینان حاصل شود.

دوربین را با استفاده از پایه در ارتفاع مشخصی که مدنظر است ثابت می‌نماییم. قطعه‌ای که می‌خواهیم روی آن تست آبگریزی را انجام دهیم روی سطح صاف و جلوی دوربین قرار داده و با استفاده از غلتک تعبیه شده روی دوربین جهت تنظیم وضوح (Focus)، وضوح سطح را در بهترین حالت قرار می‌دهیم. لازم به ذکر است که برای داشتن تصاویری با وضوح بالا، در پشت قطعه نیز نوری با تمرکز روی قطره قرار داده تا کیفیت تصویر قطره در بهترین حالت خود قرار داشته باشد.

درون یک ظرف مقداری آب ریخته و با استفاده از قطره‌چکان مخصوص قطره‌ای آب روی سطح مورد نظر می‌اندازیم. با استفاده از نرم‌افزار از قطره عکس گرفته و این تصویر برای پردازش آماده است. همان‌طور که ذکر شد، این نرم‌افزار که مخصوص دوربین است، خود دارای قابلیت پردازش قطره توسط سه‌نقطه است. سه‌نقطه مورد نظر روی قطره را مشخص کرده و نرم‌افزار زاویه تماس قطره با سطح را با دقت بالا اندازه‌گیری می‌کند.

www.SID.ir

Archive of SID

تصویر مورد نظر را ذخیره کرده و قطعه دیگر را جهت انجام این آزمایش روی سطح و بین دوربین و نور متمرکز قرار می‌دهیم و این عملیات را به ترتیب برای قطعات بعدی نیز انجام می‌دهیم.
هدف از ساخت این کامپوزیت، آبگریز کردن آن است. در این آزمایش علاوه بر اینکه رسیدن به این هدف بررسی شده است؛ بهترین زاویه تماس را ثبت کرده و پیرو آن درصد وزنی پودر سیلیکا ایروژل مخصوص آن سطح را به‌عنوان درصد بهینه از پودر برای سطح کامپوزیت با بیش‌ترین آبگریزی نتیجه‌گیری می‌نماییم. علاوه بر آن بایستی دقت شود که زاویه تماس قطره با سطح رزین پلی‌استر/ اپوکسی که به‌تنهایی و بدون پودر سیلیکا ایروژل آبگریز پخت شده، به‌عنوان کران پایین آزمایش و برای محاسبه کران بالا یک‌تکه از گرانول سیلیکا ایروژل آبگریز تهیه شده است و زاویه تماس قطره آب با این گرانول را به‌عنوان کران بالا ثبت کرده (منظور از کران پایین و بالای آزمایش این است که در کران پایین ما هیچ‌گونه آبگریزی را شاهد نبوده و بدترین حالت را داریم و در کران بالا که میزان آبگریزی گرانول سیلیکا ایروژل است، بهترین آبگریزی را داریم) و در ادامه روند آبگریزی را برای کامپوزیت‌ها با درصدهای مختلف مشاهده می‌کنیم. زاویه تماس قطره آب با گرانول سیلیکا ایروژل آبگریز طبق تصویر برابر با ۱۱۷,۹۵ درجه است (شکل ۱).

نتایج و بحث

ایروژل اولین بار توسط استیون کیستلر در سال ۱۹۳۱ ساخته شد و اولین نوع ایروژل‌ها از نوع سیلیکا ایروژل‌ها بودند. شفافیت سیلیکا ایروژل‌ها مزیت مهم آن‌ها در کاربردهای مختلف است. سیلیکا ایروژل‌ها خواص آبگریزی زیادی از خود نشان می‌دهند و با خاصیت عایق حرارتی و گرمایی بسیار عالی شناخته شده‌اند. به‌طورکلی ایروژل‌ها عایق‌های صوتی بسیار خوبی هستند به‌طوری‌که انتقال صوت در ایروژل‌ها به نوع گاز درون‌شبکه‌ای، دانسیته و به‌طور عمده به بافت ماده اولیه بستگی دارد. دامنه و سرعت امواج صوتی در این ترکیبات کاهش می‌یابد. سرعت امواج طولی صوت در حدود ۱۰۰ متر بر ثانیه است. این خاصیت، سیلیکا ایروژل‌ها را برای کاربرد در مقاومت‌های صوتی، تقویت کننده‌های مافوق صوت و .... مناسب می‌سازد [۶].

خواص آبگریزی کامپوزیت پلی‌استر-سیلیکا ایروژل

با توجه به سه‌نقطه انتخابی برای محاسبه زاویه تماس، زاویه تماس قطره با سطح مواد ساخته شده از رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

زاویه تماس = (۱۸۰ – زاویه محاسبه شده) (۱)

زاویه تماس قطره آب با سطح رزین پلی‌استر که در آن پودر سیلیکا ایروژل وجود ندارد، برابر با ۴۱,۶۵ درجه است (شکل ۲). نتایج حاصل از زاویه تماس قطره آب با کامپوزیت پلی‌استر سیلیکا ایروژل در شکل ۳ ارائه شده است. همانطورکه ملاحظه می‌شود بیشترین خاصیت آبگریزی مربوط به ۱/۵ درصد وزنی است که زاویه تماس

www.SID.ir

Archive of SID

قطره آب طبق شکل ۴ برابر با ۹۸,۶۳ درجه است. مدول الاستیسیته این کامپوزیت براساس آزمون کشش معادل ۴/۲GPa بدست آمد.

خواص آبگریزی کامپوزیت اپوکسی-سیلیکا ایروژل

با توجه به سه نقطه انتخابی برای محاسبه زاویه تماس، زاویه تماس قطره با سطح مواد ساخته شده از رابطه (۲) محاسبه می‌شود:

(۲) زاویه تماس = (۲/ زاویه محاسبه شده)

زاویه تماس قطره آب با سطح رزین که در آن پودر سیلیکا ایروژل وجود ندارد، طبق شکل ۵ برابر با ۴۳,۳ درجه است. نتایج حاصل از زاویه تماس قطره آب با کامپوزیت اپوکسی سیلیکا ایروژل در شکل ۶ مشخص است. همانطورکه ملاحظه می‌شود بیشترین خاصیت آبگریزی مربوط به ۲ درصد وزنی است که زاویه تماس قطره آب طبق شکل ۷ برابر با ۹۶,۷ درجه است. مدول الاستیسیته این کامپوزیت براساس آزمون کشش معادل ۳/۵GPa بدست آمد که کمتر از رزین پلی استر است.

خواص مکانیکی و ضریب انتقال حرارت برای کامپوزیت‌های بر پایه پلی‌استر و اپوکسی، بطور خلاصه در جدول ۱ گزارش شده است. بر اساس آزمایش‌های آبگریزی و بررسی خواص مکانیکی صورت گرفته، می‌توان دریافت که کامپوزیت‌های فوق قابلیت کاربرد برای ایجاد سطوح آبگریز را دارند. اگرچه این بررسی‌ها به تنهایی برای این ادعا کافی نبوده و مراحل تکمیلی آن در حال حاضر در حال انجام می‌باشد.

نتیجه‌گیری

۱) از مهم‌ترین و کاربردی‌ترین راه‌های ساخت یک ماده آبگریز، تولید یک کامپوزیت پلیمری آبگریز است. به‌این‌ترتیب که به بستر پلیمری موردنظر یک فیلر (پرکننده) آبگریز یا فوق آبگریز افزوده شود.

۲) شفافیت سیلیکا ایروژل‌ها مزیت مهم آن‌ها در کاربردهای مختلف است. سیلیکا ایروژل‌ها خواص آبگریزی خوبی دارند و با خاصیت عایق حرارتی و گرمایی عالی شناخته شده‌اند.

۳) با توجه به آب‌دوست بودن پلی‌استر، می‌توان با افزودن ایروژل آبگریز به آن، میزان آبگریز بودن پلی‌استر را افزایش داد و درنهایت به یک کامپوزیت آبگریز دست یافت. دستیابی به یک کامپوزیت آبگریز با بستری از پلی‌استر، کاربرد عمده‌ای در پوشش‌های سطحی دارد.

۴) بیشترین خاصیت آبگریزی کامپوزیت پلی‌استر سیلیکا ایروژل مربوط به ۱/۵ درصد وزنی است که زاویه تماس قطره آب طبق شکل ۴ برابر با ۹۸,۶۳ درجه است. مدول الاستیسیته این کامپوزیت براساس آزمون کشش معادل ۴/۲GPa بدست آمد.

www.SID.ir

Archive of SID

۵) بیشترین خاصیت آبگریزی کامپوزیت اپوکسی سیلیکا ایروژل مربوط به ۲ درصد وزنی است که زاویه تماس قطره آب طبق شکل ۷ برابر با ۹۶,۷ درجه است. مدول الاستیسیته این کامپوزیت براساس آزمون کشش معادل ۳/۵GPa بدست آمد که کمتر از رزین پلی استر است.

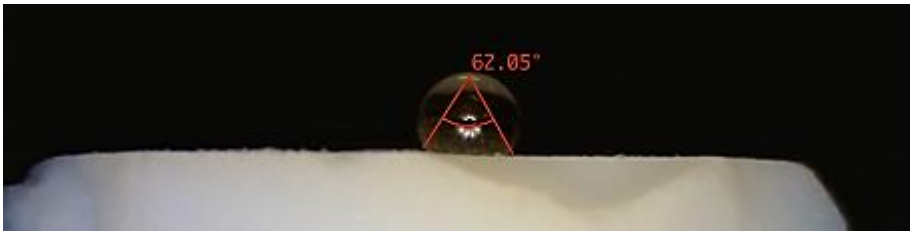
۶) بر اساس آزمایش‌های آبگریزی و بررسی خواص مکانیکی صورت گرفته، می‌توان دریافت که کامپوزیت‌های فوق قابلیت کاربرد برای ایجاد سطوح آبگریز را دارند. اگرچه این بررسی‌ها به تنهایی برای این ادعا کافی نبوده و مراحل تکمیلی آن در حال حاضر در حال انجام می‌باشد.

مراجع

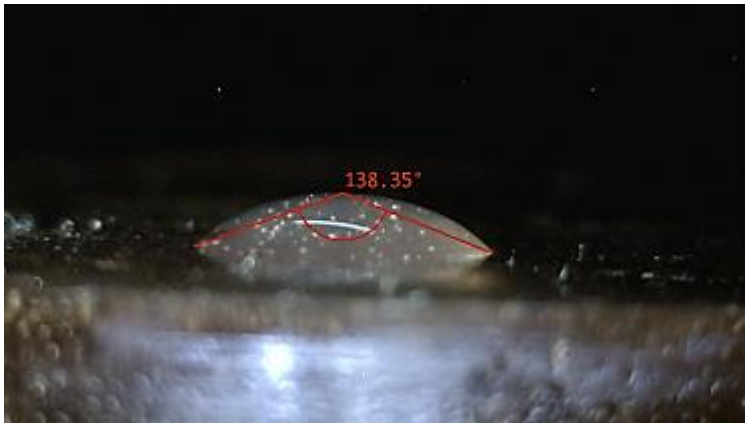
1. [1] Y. Liu, X. Yin, J. Zhang, S. Yu, Z. Han, and L. Ren, "A electro-deposition process for fabrication of biomimetic super-hydrophobic surface and its corrosion resistance on magnesium alloy," Electrochimica Acta, vol. 125, pp. 395-403, 2014.
2. [2] Y. Liu, J. Liu, S. Li, Z. Han, S. Yu, and L. Ren, "Fabrication of biomimetic super-hydrophobic surface on aluminum alloy," Journal of Materials Science, vol. 49, pp. 1624-1629, 2014.
3. [3] S. Roy and A. Hossain, "Modeling of Stiffness, Strength, and Structure–Property Relationship in Crosslinked Silica Aerogel," in Multiscale Modeling and Simulation of Composite Materials and Structures, ed: Springer, 2008, pp. 463-494.
4. [4] N. Bheekhun, A. Talib, A. Rahim, and M. R. Hassan, "Aerogels in aerospace: an overview," Advances in Materials Science and Engineering, vol. 2013, 2013.
5. [5] S. Laurenzi ,C. Circi, and M. Marchetti, "Aerogel for Aerospace Applications," Recent Patents on Space Technology, vol. 2, pp. 102-107, 2012.
6. [6] M. Koebel, A. Rigacci, and P. Achard, "Aerogel-based thermal superinsulation: an overview," *Journal of sol-gel science and technology,* vol. 63, pp. 315-339, 2012.

www.SID.ir

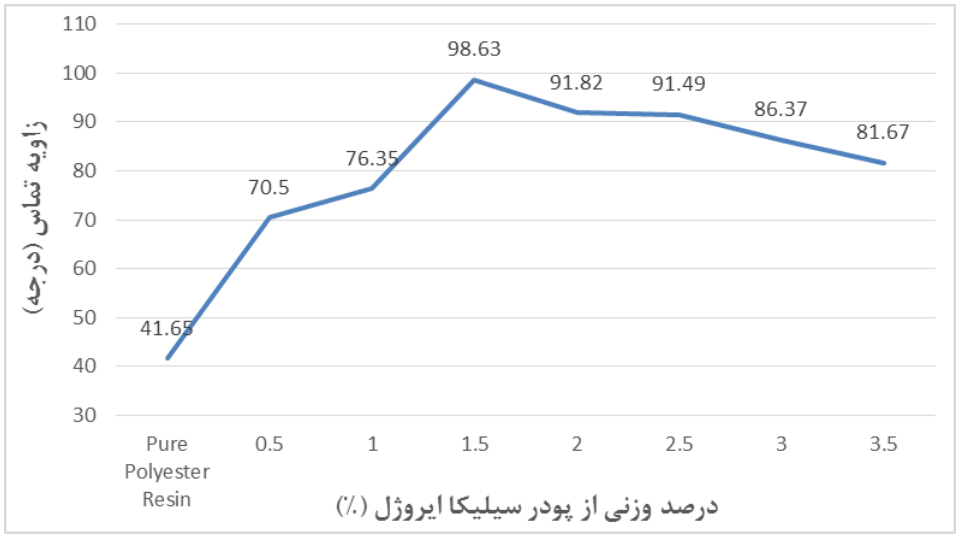
Archive of SID



شکل ۱: زاویه تماس قطره با سطح گرانول سیلیکا ایروژل آبگریز.



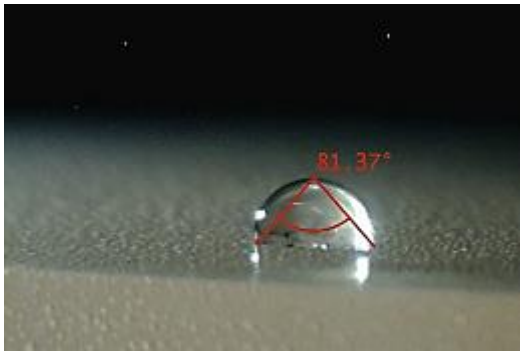
شکل ۲: زاویه تماس قطره با سطح رزین پلی‌استر و بدون پودر سیلیکا ایروژل آبگریز.



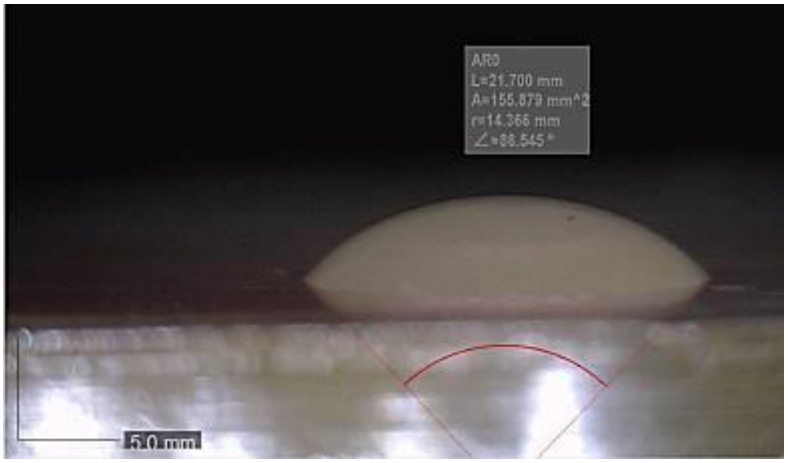
شکل ۳: نمودار زاویه تماس قطره آب با کامپوزیت بر پایه پلی‌استر به ازای درصدهای مختلف از پودر سیلیکا ایروژل

www.SID.ir

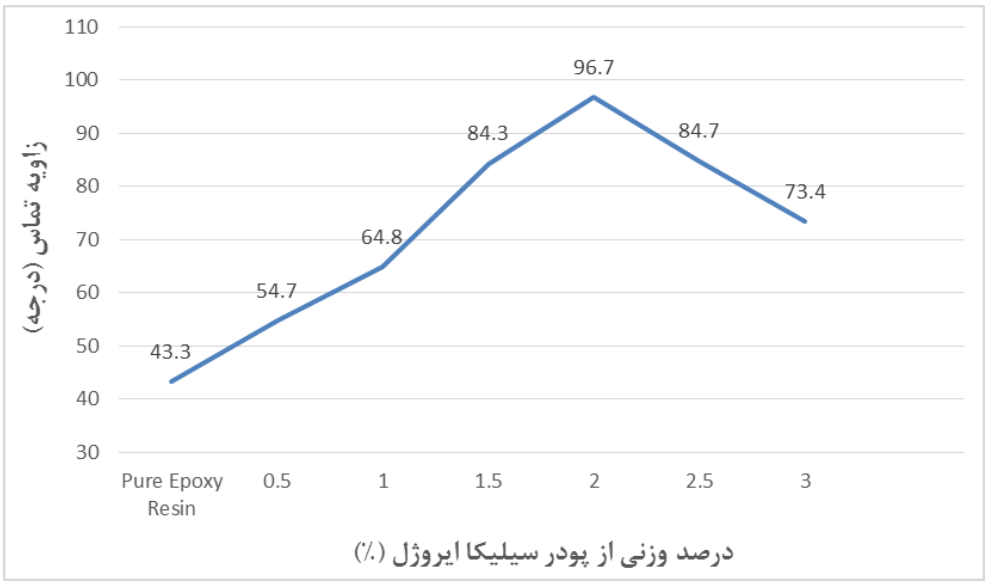
Archive of SID



شکل ۴: زاویه تماس قطره با سطح رزین پلی‌استر و ۱,۵ درصد جرمی از پودر سیلیکا ایروژل آبگریز.



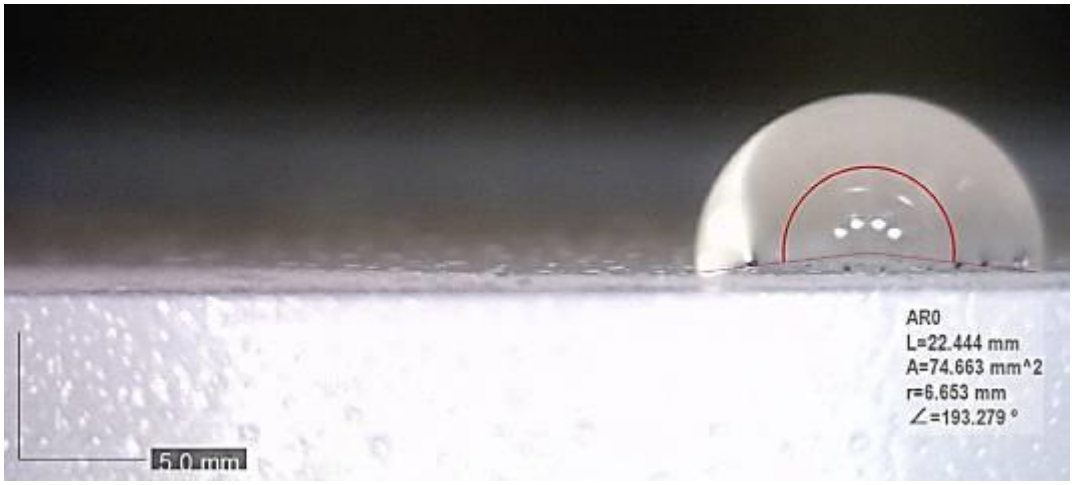
شکل ۵: زاویه تماس قطره با سطح رزین اپوکسی و بدون پودر سیلیکا ایروژل آبگریز.



شکل ۶: نمودار زاویه تماس قطره آب با کامپوزیت بر پایه اپوکسی به ازای درصدهای مختلف پودر سیلیکا ایروژل

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۷: زاویه تماس قطره با سطح رزین اپوکسی و ۲ درصد جرمی از پودر سیلیکا ایروژل آبگریز.

جدول ۱: خواص مکانیکی و ضرایب انتقال حرارت مربوط به کامپوزیت بر پایه پلی‌استر

نمونه	ضریب انتقال حرارت (W/m.K)	مدول الاستیسیته (MPa)	کرنش (%)	سختی (Shore D)	استحکام ضربه (N/m)
رزین پلی‌استر	۰,۲۴۳	۳۴۰۰	۲,۱۵	۵۵±۲	۲۴۵۶
رزین اپوکسی	۰,۱۹۵	۲۱۸۶	۲,۹۳	۵۰±۲	۳۸۲۹
رزین پلی‌استر ۱,۵	۰,۱۳۵	۴۲۵۰	۱,۸۴	۶۳±۲	۸۹۲۰
رزین اپوکسی ۲	۰,۰۶۴	۳۵۶۰	۲,۵۱	۶۸±۲	۱۰۱۱۴
سیلیکا ایروژل	۰,۰۴۰	–	–	–	–

www.SID.ir