

SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



عضویت در خبرنامه



فیلم های آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی



PROPOSAL

پروپوزال

مركز آموزش
پروپوزال نویسی و پایان نامه نویسی

کارگاه آنلاین
پروپوزال نویسی و پایان نامه نویسی



مركز آموزش
روش تحقیق و مقاله نویسی علوم انسانی

کارگاه آنلاین
روش تحقیق و مقاله نویسی علوم انسانی



مركز آموزش
آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترکیه های جستجو

کارگاه آنلاین آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترکیه های جستجو



بررسی تاثیر نانوذرات کاربید سیلیسیم بر خواص مکانیکی و پایداری حرارتی پوشش‌های پلی‌یورتان

داود رئیسی^۱، رضاشجاع‌رضوی^۲، مهرداد طاهران^۳

۱. اصفهان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد، دانشکده مهندسی مواد (کارشناس ارشد مهندسی مواد)

۲. اصفهان، شاهین شهر، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، دانشکده مهندسی مواد (دانشیار)

۳. اصفهان، دانشگاه اصفهان، دانشکده مهندسی شیمی (کارشناس ارشد مهندسی شیمی)

چکیده

در تحقیق حاضر نانو کامپوزیت‌ها با ۱، ۲ و ۳ درصد وزنی نانو کاربید سیلیسیم در پوشش پلی‌یورتان با روش اختلاط محلولی تهیه و بر روی زیرلایه آماده‌سازی به روش ماسه‌پاشی اعمال گردید. در این تحقیق از آزمون پول‌آف (Pull-Off) جهت بررسی استحکام چسبندگی پوشش به زیرلایه استفاده شد. مقاومت سایشی پوشش‌ها با استفاده از روش رول بر روی پلیت (Roller on plate) و جهت بررسی سطح سایش از تصاویر میکروسکوپی الکترونی روبشی گسیل میدانی (FE-SEM) استفاده شد. آنالیز وزن‌سنجی حرارتی (TGA) جهت بررسی پایداری حرارتی پوشش‌ها مورد استفاده قرار گرفت. نتایج آزمون‌ها نشان داد با حضور ۲ درصد وزنی از نانوذرات، چسبندگی ۴۳ درصد و مقاومت سایشی حدود ۴۲ درصد بهبود و دمای شروع تجزیه ۵۱ درصد افزایش یافت. در نانو کامپوزیت حاوی ۳ درصد وزنی نانو کاربید سیلیسیم، خواص نسبت به ۲ درصد وزنی به دلیل تجمع ذرات کاهش نسبی پیدا کرد.

واژه‌های کلیدی: نانو کامپوزیت، پلی‌یورتان، کاربید سیلیسیم، مقاومت سایشی، استحکام چسبندگی، پایداری حرارتی

مقدمه

پوشش‌های آلی در پوشش‌نهایی قطعاتی مانند خطوط لوله، بدنه کشتی‌ها، تجهیزات فضایی [۱] خودروها [۲] کاربرد فراوانی دارند. به دلیل استفاده مداوم، این وسایل نیاز به تعمیرات بعدی دارند، زیرا ممکن است این پوشش‌ها مقاومت کافی در برابر آسیب‌های مکانیکی، حرارتی و نفوذپذیری را نداشته باشند. جهت برطرف کردن این مشکلات پرکننده‌های غیر آلی در زمینه‌های آلی استفاده می‌شود، که نتیجه آن ماندگاری و بهبود خواص مورد نیاز است [۳]. استاتو بایر^۱ و همکارانش در سال ۱۹۳۷ موفق به کشف ترکیبات پلی‌یورتان شدند [۴]، امروزه پوشش‌های زیادی از ترکیبات پلی‌یورتان به صورت تک جزئی و دو جزئی عرضه شده است [۵]. قبلاً بسیاری از پرکننده‌های میلی‌متری و میکرومتری جهت بهبود خواص عمومی پوشش پلی‌یورتان استفاده شده است. این پرکننده‌های بزرگ و رزین نمی‌توانند یک سیستم فشرده را در پلیمر تشکیل دهند؛ درحالی‌که پرکننده‌های نانومتری می‌توانند باعث تشکیل یک ساختار فشرده و درهم تنیده‌ای در پلیمر شوند [۶]. مساحت زیاد مواد نانوذره‌ای موجب تعامل عالی بین پلیمر و ماده پرکن می‌شود، بنابراین با کاهش اندازه نانوذرات خواص بهتری در پلیمر ایجاد می‌گردد [۷]. لیو^۲ و همکاران تاثیر اندازه نانوذرات اکسید آهن بر برهم‌کنش‌های ایجاد شده بین زمینه‌ی پلی‌یورتان و نانوذرات را با استفاده از آنالیز طیف‌سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز^۳ بررسی کردند، نتایج نشان داد، کاهش ابعاد نانوذرات اکسید آهن از ۱۵۰ به ۶۰ نانومتر، باعث افزایش سه درصدی گروه‌های هیدروکسیل بر روی سطح نانوذرات می‌گردد؛ که نشان‌دهنده‌ی افزایش فصل مشترک بین نانوذره اکسید آهن و محیط (پلیمر) است [۸]. هدف از انجام این پژوهش تولید نانو کامپوزیت پایه پلی‌یورتان تقویت شده با نانوذرات کاربید سیلیسیم به روش اختلاط محلولی و بررسی خواص مکانیکی، حرارتی و خوردگی این پوشش‌ها و مقایسه‌ی آن‌ها با پلی‌یورتان خالص می‌باشد. تا کنون چه در ایران چه در دیگر کشورها، تاثیر نانوذرات کاربید سیلیسیم در پوشش پلی‌یورتانی بر خواص ضد خوردگی و خواص مکانیکی این پوشش‌ها، مورد بررسی قرار نگرفته است. در صورت رسیدن به نتایج مطلوب در این پژوهش و تولید پوشش با خواص مورد نظر، به مشکل‌های بزرگ موجود در صنعت رنگ و پوشش کمک خواهد شد.

مواد و روش تحقیق

۱- مواد

در این بررسی، از نانوذرات کاربید سیلیسیم با ابعاد ۶۰-۴۰ نانومتر محصول شرکت US Research کشور آمریکا، به عنوان فاز تقویت کننده و از رزین پلی‌یورتان دو جزئی شفاف محصول شرکت Mipa کشور آلمان، به عنوان زمینه‌ی نانو کامپوزیت و از محلول BYK۱۱۰ محصول شرکت BYK آلمان به عنوان پراکنده کننده^۴ نانوذرات، استفاده شد. زیرلایه نیز فولاد کم کربن انتخاب شد که از شرکت فولاد مبارکه اصفهان تهیه گردید.

^۱ O. Bayer^۲ liu^۳ Fourier transform infrared spectroscopy^۴ dispersant additive

از حلال تینر، ساخت شرکت برتر ایران جهت رقیق نمودن رزین و از استون و زایلن نیز جهت چربی زدایی سطح استفاده شد.

۲- تجهیزات و روش کار

دستگاه اولتراسونیک^۱ مدل Up400s ساخت شرکت Hielscher کشور آلمان جهت پراکنده نمودن نانوذرات کاربیدسیلیسیم در زمینه پلی یورتان، با توان ۵۰ درصد و سیکل ۵/۰ ثانیه مورد استفاده قرار گرفت. ضخامت پوشش-های اعمال شده بر روی نمونه‌های فولاد، با استفاده از دستگاه ضخامت سنج مدل Elecometer ۴۵۶ ساخت کشور انگلستان و طبق استاندارد ASTM D ۱۱۸۶ [۹]، اندازه گیری شد. استحکام چسبندگی پوشش‌ها از روش پول آف^۲ توسط دستگاه مدل Posi test AT-A ساخت کشور آمریکا و طبق استاندارد ASTM D ۴۵۴۱ [۱۰]، بررسی گردید. از تصاویر میکروسکوپی الکترونی روبشی گسیل میدانی^۳ مدل Hitachi S۴۱۶۰ ساخت شرکت Gold field emission و با ولتاژ ۲۰ eV، جهت بررسی سطح سایش استفاده شد. جهت بررسی پایداری حرارتی پوشش‌ها از آزمون وزن سنجی حرارتی^۴ و با استفاده از دستگاه مدل ۴۰۱ ساخت شرکت صنعت آرا (بازه دمایی ۸۰۰-۳۰ درجه سانتی گراد با نرخ گرمادهی ۱۰ درجه سانتی گراد بر دقیقه و اتمسفر هوا)، استفاده شد. جهت بررسی میزان مقاومت سایشی پوشش‌های مورد مطالعه در این پژوهش از روش رول بر روی پلیت^۵ با استفاده از دستگاه مدل RAI/۱ ساخت شرکت Maxtechnics کشور کانادا و طبق استاندارد ASTM D ۴۰۶۰ [۱۱] انجام پذیرفت. این دستگاه شامل یک رول ساینده کاربیدسیلیسیم است که با نیروی ۵ نیوتن بر روی نمونه‌های پوشش داده شده با ابعاد ۱۰۰×۱۰۰ mm به صورت چرخشی در ۴ مرحله و در هر مرحله ۲۰۰ دور حرکت می‌کند. در این تحقیق سطح زیر لایه به روش ماسه پاشی آماده سازی شد. در این روش نمونه‌ها ابتدا با آب گرم، محلول شوینده و حلال استون و زایلن چربی زدایی شد، سپس تحت پاشش ماسه‌هایی با اندازه ۱۵۰ مش قرار گرفت. جهت تولید پوشش‌های نانو کامپوزیت شده با ۱، ۲ و ۳ درصد وزنی از نانوذرات کاربید سیلیسیم، ابتدا مقدار مشخصی از نانوذرات را در میزان پیش‌بینی شده تینر، به مدت ۲۴ ساعت با استفاده از همزن مغناطیسی و بدون تماس با اتمسفر مخلوط، سپس توسط دستگاه اولتراسونیک به مدت ۶۰ دقیقه، نانوذرات از حالت تجمع یافته خارج شدند و همزمان محلول پراکنده کننده در میزان معین از جزء حاوی پلی‌ال رزین به مدت ۱۵ دقیقه به وسیله همزن مغناطیسی مخلوط گردید؛ سپس نانوذرات پراکنده شده با رزین حاوی محلول پراکنده کننده به مدت ۲۰ دقیقه مخلوط شد و در مرحله بعد جزء سخت کننده رزین یا همان جزء حاوی ایزوسیانات پلی یورتان به سیستم اضافه و همه اجزاء به مدت ۵ دقیقه با هم مخلوط شدند. در مرحله آخر نانو کامپوزیت تولید شده با استفاده از پیستوله با فاصله ۳۰ سانتی متر و پمپ باد صنعتی با فشار ۲-۳ بار، به صورت یکنواخت بر روی زیر لایه اعمال و به مدت یک هفته در دما و رطوبت محیط خشک گردید.

^۱ Ultrasonic

^۲ Pull-off

^۳ FE-SEM

^۴ Thermogravimetric analysis

^۵ Roller on plate

نتایج و بحث

۱- بررسی استحکام چسبندگی پوشش‌ها

شکل ۱ سطح مقطع پوشش-زیرلایه پس از انجام آزمون پول‌آف و جدول ۱ نتایج حاصل از میانگین دوبار انجام آزمون چسبندگی برای پوشش‌های پلی‌یورتان خالص و حاوی ۱، ۲ و ۳ درصد وزنی از نانوذرات کاربید سیلیسیم، بر روی زیرلایه فولاد آماده‌سازی سطح شده با روش ماسه‌پاشی را نشان می‌دهد. همان‌طور که در جدول مشخص است، افزایش نانوذرات تا ۲ درصد وزنی باعث بهبود ۴۳ درصدی استحکام چسبندگی پوشش پلی‌یورتان به سطح فولاد شده‌است. دلیل این موضوع می‌تواند پیوند قوی ایجاد شده بین نانوذرات و زمینه پلیمر باشد؛ که باعث افزایش اتصالات حجمی، فشردگی و چگالی پوشش می‌گردد [۱۲، ۱۳]. در پوشش حاوی ۳ درصد نانو کاربید سیلیسیم به دلیل تجمع نانوذرات در زمینه و ایجاد نقص در پوشش باعث کاهش استحکام چسبندگی آن شده‌است.

۲- بررسی مقاومت سایشی پوشش‌ها

نتایج آزمون سایش بر روی این پوشش‌ها در سیکل‌های مختلف چرخش در شکل ۲ نشان داده شده‌است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، افزایش نانوذرات تا ۲ درصد وزنی، افزایش مقاومت سایشی را در سیکل‌های مختلف به دنبال داشته‌است؛ که دلیل آن می‌تواند افزایش استحکام پوشش در اثر برهم‌کنش قوی بین نانوذرات و زمینه پلی‌یورتان و فشردگی زنجیره پلیمر، در میان نانوذرات باشد (سایش پیوستگی) که از جدا شدن نانوذرات و پلیمر در اثر سایش سطح ممانعت می‌کند [۱۴، ۱۵]. همچنین با توجه به شکل ۲ افزودن نانوذرات با ۱ و ۲ درصد وزنی در سیکل‌های پائین تر از ۲۰۰ دور نرخ کاهش جرم کمتری نسبت به سیکل‌های بالاتر دارد، دلیل این موضوع می‌تواند جدا شدن ذرات و نانوذرات کاربید سیلیسیم از جسم ساینده و پوشش و حضورشان در فصل مشترک پوشش-ساینده باشد؛ که با فرو رفتن در پوشش باعث ایجاد ترک و در نتیجه جدا شدن پوشش از سطح در دورهای بعد می‌شود. هم‌چنین در سیکل‌های بالاتر از ۶۰۰ دور، مقاومت سایشی برای پوشش‌های حاوی ۱ و ۲ درصد وزنی نانو کاربید سیلیسیم بهبود نسبی پیدا کرده‌است؛ که دلیل این موضوع می‌تواند چسبندگی بالای ایجاد شده در اثر افزودن نانوذرات به زمینه پلی‌یورتان باشد (سایش فصل مشترکی) [۱۲]. ولی در پوشش حاوی ۳ درصد وزنی نانو ذره به دلیل تجمع نانوذرات و کاهش برهم‌کنش بین نانو ذره-پلیمر و در نتیجه راحت‌تر جدا شدن این دو از هم، باعث کاهش مقاومت به سایش در ۳ درصد وزنی نسبت به ۱ و ۲ درصد وزنی نانو ذره شده است. ولی به دلیل سختی بالای ذرات و برهم‌کنش ناچیزی که بین نانوذرات و زمینه پلیمر وجود دارد، هم‌چنان نسبت به پوشش پلی‌یورتان خالص مقاومت سایشی بهتری دارد.

تصاویر میکروسکوپی الکترونی روبشی گسیل میدانی از سطح سایش پوشش پلی‌یورتان خالص و نانو کامپوزیت حاوی ۱، ۲ و ۳ درصد وزنی از نانوذرات کاربید سیلیسیم در شکل ۳ نشان داده شده‌است. با توجه به تصاویر می‌توان مکانیزم سایش را سایش ورقه‌ای حدس زد و همان‌طور که در شکل مشخص است، افزایش نانوذرات تا دو درصد وزنی (شکل ۳ ب و ج) باعث کاهش تخریب سطح پوشش و در نتیجه افزایش مقاومت سایشی

می‌گردد [۱۵]. ولی در پوشش حاوی ۳ درصد وزنی نانو کاربید سیلیسیم (شکل ۳ د) به دلیل تجمع نانوذرات و در نتیجه آن کاهش برهم کنش نانوذره-پلیمر، باعث می‌شود نانوذرات تجمع یافته به عنوان ناخالصی در پوشش عمل کنند و به راحتی از پلیمر جدا شده و در فصل مشترک ساییده-پلیمر قرار گیرند و در نتیجه مقاومت سایشی را کاهش دهند [۱۴]. این نتایج تائید کننده نتایج حاصل از آزمون کاهش جرم در اثر سایش می‌باشد.

۳- بررسی رفتار حرارتی پوشش‌ها

در این تحقیق پایداری حرارتی پلی‌یورتان خالص و نانو کامپوزیت‌های حاوی ۱، ۲ و ۳ درصد وزنی با روش تجزیه و تحلیل وزن‌سنجی حرارتی (در محدوده دمایی ۸۰۰-۳۰ درجه سانتی‌گراد اتمسفر هوا) بررسی گردید و نتایج در شکل ۴ نشان داده شد. همان‌طور که مشخص است، در همه نمونه‌ها یک کاهش جرم یک مرحله‌ای ایجاد شده است. در پلی‌یورتان خالص کاهش جرم در دمای ۲۴۷ درجه سانتی‌گراد به دلیل تجزیه زنجیره پلی‌یورتان شروع و تجزیه نهایی در دمای ۶۱۸ درجه سانتی‌گراد رخ داده است. افزودن ۱، ۲ و ۳ درصد وزنی از نانوذرات کاربید سیلیسیم به پلی‌یورتان، دمای شروع تجزیه پوشش‌ها به ترتیب به ۳۷۰، ۳۷۴ و ۳۶۷ دمای تجزیه نهایی پوشش‌ها به ۶۳۹، ۶۴۸ و ۶۳۵ افزایش می‌یابد. دمای تجزیه ۵، ۲۰ و ۵۰ درصد کاهش جرم نیز در جدول ۲ نشان داده شده است. همان‌طور که مشخص است، افزودن نانوذرات کاربید سیلیسیم تا ۲ درصد وزنی باعث افزایش دمای تجزیه در تمام مراحل کاهش جرم می‌گردد. افزایش دمای تجزیه می‌تواند به دلیل ساختار نسبتاً فشرده ایجاد شده در اثر افزودن نانوذرات کاربید سیلیسیم باشد. به این صورت که افزودن نانوذرات کاربید سیلیسیم باعث به تاخیر افتادن حرکت زنجیره پلیمر شده و فشردگی پوشش پلیمری را افزایش می‌دهد؛ که در نتیجه کاهش نفوذ اکسیژن و افزایش پایداری حرارتی را به دنبال دارد [۱۶، ۱۷]. علاوه بر این، فاز غیرآلی مانند کشنده رادیکال عمل کرده و از تغذیه زنجیر پلیمری جلوگیری می‌کند. هم‌چنین عدم کاهش جرم در دماهای کمتر از دمای شروع کاهش جرم در همه پوشش‌ها، به دلیل عدم وجود حلال و رطوبت در پوشش‌ها می‌باشد. تک مرحله‌ای بودن نمودار کاهش جرم نیز می‌تواند به دلایل عدم وجود حلال‌های حبس شده میان نانوذرات و پلیمر و هم‌چنین عدم وجود مونومرهای واکنش نداده در پوشش باشد. درصد محصولات باقیمانده از پوشش‌ها پس از آزمون بیش از آن‌چه که انتظار می‌رفت، با افزایش درصد نانوذرات کاربید سیلیسیم افزایش یافت. که دلیل آن پایداری حرارتی بسیار بالای نانوذرات و هم‌چنین برهم کنش قوی که میان نانوذرات و زمینه رخ داده است می‌باشد؛ به این صورت که، زنجیره‌های پلیمری که با نانوذرات واکنش داده‌اند در دمای نهایی کاهش جرم تجزیه نشده باقی می‌ماند [۱۸، ۱۹، ۶].

نتیجه‌گیری

در این پژوهش پوشش‌های پلی‌یورتان خالص و نانو کامپوزیت پایه پلی‌یورتان تقویت شده با نانوذرات کاربید سیلیسیم تولید و بر روی زیرلایه فولاد آماده‌سازی شده به روش ماسه‌پاشی اعمال شد؛ سپس خواص مکانیکی و حرارتی آن‌ها با روش‌های استاندارد بررسی و با یکدیگر مقایسه گردید و نتایج کلی زیر حاصل شد.

- ۱) افزایش نانوذرات کاربید سیلیسیم تا ۲ درصد وزنی باعث بهبود ۴۳ درصدی استحکام چسبندگی پوشش پلی یورتان به سطح فولاد شده است.
- ۲) حضور ۲ درصد وزنی از نانوذرات در زمینه پلی یورتان مقاومت سایشی را بیش از ۴۲ برابر بهبود می دهد.
- ۳) تصاویر میکروسکوپی الکترونی روبشی گسیل میدانی از سطح سایش پوشش ها نشان داد حضور نانوذرات باعث کاهش تخریب سطح سایش می گردد.
- ۴) در حضور ۲ درصد وزنی از نانوذرات کاربید سیلیسیم، دمای شروع تجزیه ۵۱ درصد افزایش یافت.
- ۵) در نانو کامپوزیت حاوی ۳ درصد وزنی نانو کاربید سیلیسیم، خواص مکانیکی و حرارتی پوشش ها نسبت به ۲ درصد وزنی به دلیل تجمع ذرات کاهش نسبی پیدا کرد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله لازم می دانند از مهندس مهرداد طاهران برای مساعدت در انجام این پژوهش صمیمانه تشکر و قدردانی نمایند.

مراجع

۱. A. Gerigorevskiy, L. V. Kiseleva, "Investigations of Advanced Thermal Control Paint Coatings", *Protection of Materials and Structures from Space Environment*, ۱۰۸۷, ۲۰۰۰, ۳۴۹-۳۵۴.
۲. E. Barna, B. Bommer, J. Kursteiner, A. Vital, O. Trzebiatowski, W. Koch, B. Schmid, T. Graule, "Innovative scratch proof nanocomposites for clear coat", *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, ۳۶, ۲۰۰۵, ۴۷۳-۴۸۰.
۳. S. W. Guan, "۱۰۰% solids polyurethane coatings technology for corrosion protection in water and wastewater systems", Middle East corrosion conference, Manama. Bahrain, ۹, ۲۰۰۱, ۱۲-۱۴.
۴. ح. رقمی، پلی یورتان در صنعت رنگ شی می ساخت مشخصات کاربرد، نشر اول، انتشارات حمید رقمی، تهران، ۱۳۸۹.
۵. E. L. Long, Electrically conductive black silicone paint having spacecraft applications, US Patent ۵۶۶۵۲۷۴, ۱۹۹۵.
۶. K. Friedrich, A. K. Schlar, tribology of polymeric nanocomposites, second edition, Elsevier Science, ۲۰۰۸.
۷. P. M Ajayan, L. S Schadler, P. V Braun, Nanocomposite Science and Technology, Wiley-VCH, Weinheim, ۲۰۰۳.
۸. L. Fuchun, Y. Lihong, H. Enhou, "Effect of particle sizes and pigment volume concentrations on the barrier properties of polyurethane coatings", *Journal Coating Technology Research*, ۷, ۲۰۱۰, ۳۰۱-۳۱۳.
۹. Standard Test Methods for Nondestructive Measurement of Dry Film Thickness of Nonmagnetic Coatings Applied to a Ferrous Base, Annual Book of ASTM Standard, ASTM Standard, ۰۶.۰۱, D۱۱۸۶ - ۹۳۰۱, ۲۰۰۶.
۱۰. Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers, Annual Book of ASTM Standard, ASTM Standard, ۰۶.۰۲, D۴۵۴۱ - ۰۲, ۲۰۰۶.

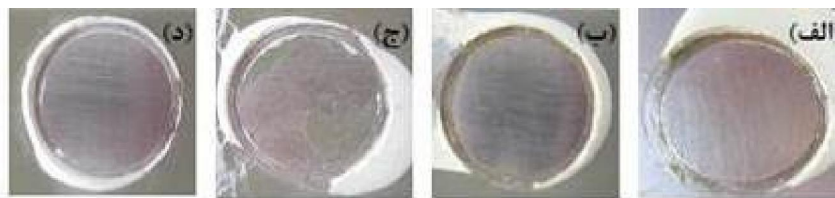
۱۱. Standard Test Method for Abrasion Resistance of Organic Coatings by the Taber Abraser, Annual Book of ASTM Standard, ASTM Standard, ۰۶.۰۱, D۴۰۶۰, ۲۰۰۵.
۱۲. L. Zhai, G. Ling, J. Li, Y. Wang, "The effect of nanoparticles on the adhesion of epoxy adhesive", *Materials Letters*, ۶۰, ۲۰۰۶, ۳۰۳۱-۳۰۳۳.
۱۳. ب. کفاشی، علوم و فناوری نانوکامپوزیت، وی‌رای‌ش اول، انتشارات دانشگاه تهران، ۰۱۳۸۹.
۱۴. Z. Guo, T. Y. Kim, K. Lei, T. Pereira, J. G. Sugar, H. T. Hahn, "Strengthening and thermal stabilization of polyurethane nanocomposites with silicon carbide nanoparticles by a surface-initiated-polymerization approach", *Composites Science and Technology*, ۶۸, ۲۰۰۸, ۱۶۴-۱۷۰.
۱۵. K. Xu, S. Zhou, L. Wu, "Effect of highly dispersible zirconia nanoparticles on the properties of UV-curable poly (urethane-acrylate) coatings", *Journal of Materials Science*, ۴۴, ۲۰۰۹, ۱۶۱۳-۱۶۲۱.
۱۶. D. Kim, K. Jeon, Y. Lee, J. Seo, K. Seo, H. Han, S. Khan, "Preparation and characterization of UV-cured polyurethane acrylate/ZnO nanocomposite films based on surface modified ZnO", *Progress in Organic Coatings*, ۷۴, ۲۰۱۲, ۴۳۵-۴۴۲.
۱۷. S. D. Burnside, E. P. Giannelis, "Synthesis and properties of new poly (dimethylsiloxane) nanocomposites", *Chemistry of Material*, ۷, ۱۹۹۵, ۱۵۹۷-۱۶۰۰.
۱۸. T. A. Vilgis, G. Heinrich, M. Kluppel, Reinforcement of Polymer nano-composites, First published, Cambridge University Press, ۲۰۰۹.
۱۹. S. K. Dhoke, T. J. Mangal Sinha, A. S. Khanna, "Effect of nano- Al_2O_3 particles on the corrosion behavior of alkyd based waterborne coatings", *Journal Coating Technology Research*, ۶ (۳), ۲۰۰۹, ۳۵۳-۳۶۸.

جدول ۱: استحکام چسبندگی در پوشش‌های اعمال شده بر روی زیرلایه فولاد آماده‌سازی شده به روش ماسه‌پاشی

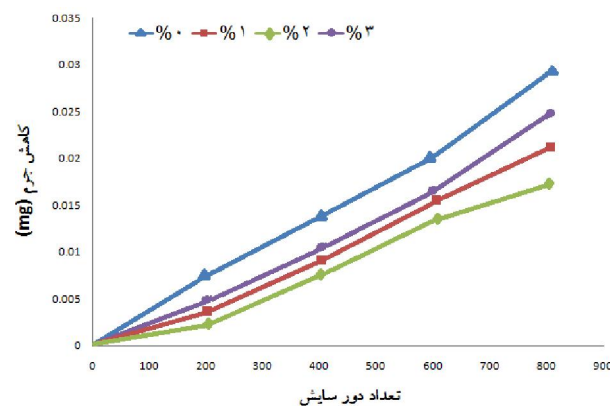
چسبندگی	استحکام (MP)
۵۰ درصد وزنی	۲/۸۰±۰/۱
۱ درصد وزنی	۳/۸۰±۰/۱۵
۲ درصد وزنی	۳/۹۹±۰/۱۵
۳ درصد وزنی	۲/۹۰±۰/۱

جدول ۲: دما در درصد‌های مختلف کاهش جرم در آزمون پایداری حرارتی

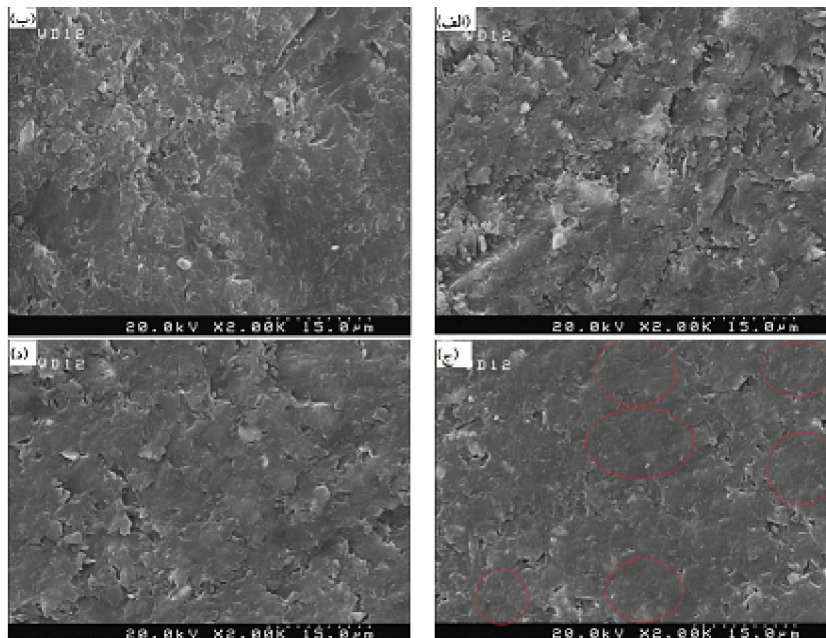
Te (C°)	T۵۰ (C°)	T۲۰ (C°)	T۵ (C°)	Tb (C°)	
۶۱۸	۵۴۳	۴۵۵	۳۹۲	۲۴۷	۰ درصد وزنی
۶۳۹	۵۶۲	۴۷۱	۴۱۹	۳۷۰	۱ درصد وزنی
۶۴۸	۵۸۶	۴۸۵	۴۲۶	۳۷۴	۲ درصد وزنی
۶۳۵	۵۵۹	۴۷۳	۴۱۴	۳۶۷	۳ درصد وزنی



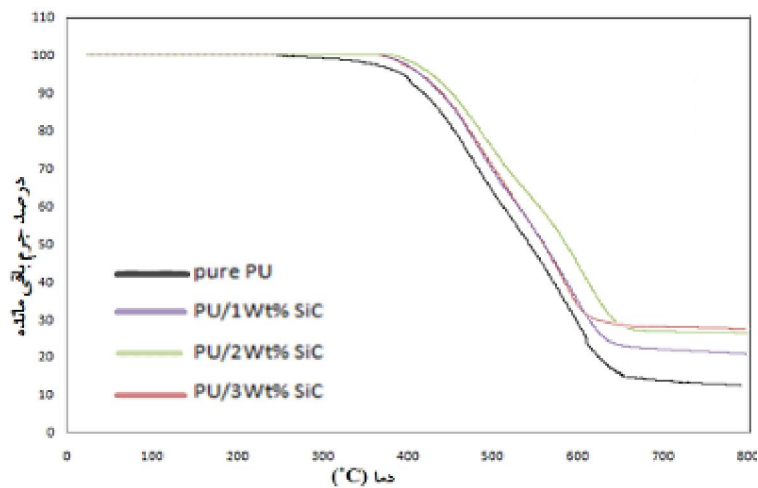
شکل ۱: سطح مقطع پس از آزمون چسبندگی پول‌آف



شکل ۲: تاثیر درصد وزنی نانوذرات کاربید سیلیسیم بر مقاومت سایشی پوشش‌ها



شکل ۳: تصاویر میکروسکوپی الکترونی روبشی گسیل میدانی از سطح سایش پوشش پلی یورتان حاوی الف) صفر، ب) ۱، ج) ۲ و د) ۳ درصد وزنی نانوذره کاربید سیلیسیم



شکل ۴: منحنی وزن سنجی حرارتی برای پلی یورتان خالص و حاوی درصد‌های مختلف نانو کاربید سیلیسیم

SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



عضویت در خبرنامه



فیلم های آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی



PROPOSAL
پروپوزال

پروپوزال نویسی و پایان نامه نویسی

دکتره تهرانی

کارگاه آنلاین
پروپوزال نویسی و پایان نامه نویسی



روش تحقیق و مقاله نویسی علوم انسانی

دکتره تهرانی

کارگاه آنلاین
روش تحقیق و مقاله نویسی علوم انسانی



ISI
Scopus

آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترند های جستجو

دکتره تهرانی

کارگاه آنلاین آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترند های جستجو